

Trabajo de Final Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Impacto de la situación socioeconómica sobre la demanda de la línea de ferrocarriles del Vallès

MEMORIA

Autor: Pol Villalante Sanfeliz
Directora: M. Antonia de los Santos Lopez
Codirector: Vicente César de Medina Iglesias
Convocatoria: Enero 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El presente documento desarrolla un modelo estadístico que permita prever la futura demanda de viajeros en la línea del Vallès FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya) EN función de variables relacionadas con los diferentes flujos socioeconómicos. Dicho modelo se realiza a partir de los datos reales de la demanda en el periodo comprendido entre los años 2001 y 2017. El estudio comienza con la elección de aquellas variables que impactan de alguna manera en la demanda y que además están relacionadas con la situación socioeconómica. Seguidamente se realiza un análisis estadístico de la muestra obtenida a partir de registros oficiales como son el Idescat (Institut d'Estadística de Catalunya) y el INE (Instituto Nacional de Estadística) de cada una de las variables para así poder caracterizarlas. Posteriormente, se desarrollan dos modelos que permiten calcular la demanda, siendo el primero lineal y el segundo logarítmico. Finalmente, se realiza una segunda validación en que se cuantifica la diferencia entre la demanda prevista y la real registrada en el año 2018.

A partir de estos modelos, se identifican cuáles de las variables escogidas inicialmente impactan significativamente en la demanda. Gracias a estos dos modelos se demuestra el impacto que tiene la situación socioeconómica sobre la demanda de pasajeros, ya que por ejemplo variables como la tasa de paro y el PIB per por cápita influyen muy significativamente sobre la demanda. Además, a partir de estos se pueden estimar de forma aproximada futuras demandas conociendo datos socioeconómicos del área de estudio.

Contenido

CONTENIDO	5
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Motivación	13
1.2. Objetivo y Alcance.....	13
1.3. Metodología.....	13
1.4. Planificación	13
2. DATOS DE PARTIDA Y DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES.	15
2.1. Datos de partida	15
2.2. Variables significativas utilizadas en el modelo	18
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES	21
4. MODELIZACIÓN DE LA DEMANDA	32
4.1. Análisis de la influencia del PIB per cápita	32
4.2. Modelo lineal	34
4.2.1. Definición del modelo.....	34
4.2.2. Validación del modelo.....	39
4.3. Modelo logarítmico	44
4.3.1. Definición del modelo.....	44
4.3.2. Validación del modelo.....	49
5. VALIDACIÓN DEL MODELO	54
5.1. Análisis resultados para 2018.....	54
5.2. Análisis de los coeficientes	57
5.3. Análisis y justificación de la diferencia entre los municipios.....	58
6. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	61
7. PRESUPUESTO	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA	65
Referències bibliogràfiques	65

Índice de figures

Figura 1: Diagrama de Gantt para la planificación del estudio. Elaboración propia.....	14
Figura 2: Línea Barcelona-Vallès del año 2019. Obtenido a partir de: https://www.fgc.cat/es/red-fgc/linea-barcelona-valles/	15
Figura 3: Demanda total de la Línea del Vallès. Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por FGC.	17
Figura 4: Evolución PIB per cápita de Cataluña. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del INE (Instituto Nacional de Estadística).	18
Figura 5: Figura 5: Tasa de paro medio de los municipios estudiados (Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Sant Cugat del Vallès, Terrassa, Sabadell, Rubí). Elaboración propia a partir de los datos de Idescat.	19
Figura 6: Histograma de la de la demanda. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial	22
Figura 7: Histograma de la frecuencia de censo de población. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	23
Figura 8: Histograma de la frecuencia de número de turistas. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	24
Figura 9: Histograma de la frecuencia del PIB per cápita. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	25
Figura 10: Histograma de la frecuencia de la tasa de paro. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	26
Figura 11: Representación gráfica de la frecuencia del número de estaciones. Elaboración propia a partir de los datos de la muestra inicial.	27
Figura 12: Histograma de la variable Media de edad. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	29
Figura 13: Histograma de la variable Número de universitarios. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.	30
Figura 14: Gráfico de dispersión de la demanda respecto al PIB per cápita. Elaboración	

propia a partir de los valores de la muestra.	32
Figura 15: Diagramas de cajas de la demanda por habitante de los 6 municipios. Elaboración propia a partir de los datos de la muestra.	33
Figura 16: Análisis de los residuos. Elaboración propia a partir de los valores obtenidos del modelo lineal.	39
Figura 17: Gráfico probabilístico normal. Elaboración propia a partir de los valores del modelo propuesto.	40
Figura 18: Representación de los residuos de la variable Censo de población. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	40
Figura 19: Representación de los residuos de la variable número de turismos. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	41
Figura 20: Representación de los residuos de la variable PIB per Cápita. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	41
Figura 21: Representación de los residuos de la variable Tasa de Paro. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	42
Figura 22: Representación de los residuos de la variable Media de Edad. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	42
Figura 23: Representación de los residuos de la variable Número de Universitarios. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	43
Figura 24: Análisis de los residuos del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores obtenidos del modelo lineal.	47
Figura 25: Gráfico probabilístico normal del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores del modelo propuesto.	48
Figura 26: Representación de los residuos de la variable Censo de población del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	49
Figura 27: Representación de los residuos de la variable Número de turismos del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	49
Figura 28: Representación de los residuos de la variable PIB per Cápita del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	50

Figura 29: Representación de los residuos de la variable Tasa de Paro del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	50
Figura 30: Representación de los residuos de la variable Número de estaciones del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.....	51
Figura 31: Representación de los residuos de la variable media de edad del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.	51
Figura 32: Representación de los residuos de la variable Número de Universitarios del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.....	52
Figura 33: Cálculo del consumo eléctrico del equipo utilizado para el estudio. Elaborado a partir de la web www.hp.com	61

Índice de tablas

Tabla 1: Distribución de las diferentes estaciones de la Línea del Vallès en los municipios. Elaboración propia.	16
Tabla 3: Análisis estadístico de la muestra. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos.	21
Tabla 4: Frecuencia relativa de la variable número de estaciones según municipios. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de FGC.	28
Tabla 5: Información sobre los municipios estudiados. Elaboración propia a partir de la información extraída de Idescat (Instituto de estadística de catalunya).....	31
Tabla 6: Estadísticas de la regresión. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	35
Tabla 7: ANOVA de la regresión lineal. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	36
Tabla 8: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 1; paso 1. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	37
Tabla 9: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 1; paso 3. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	38
Tabla 10 : Estadísticas de la regresión del segundo modelo. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	44
Tabla 11: ANOVA de la regresión lineal del segundo modelo. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	45
Tabla 12: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 2; paso 1. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	46
Tabla 13: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 2; paso 2. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.	47
Tabla 14: Valores de los variables para el año 2018 de los 6 municipios. Elaboración propia a partir del modelo.	55
Tabla 15: Comparación del valor calculado a partir del modelo 1 y el valor real. Elaboración	

propia a partir del modelo.	56
Tabla 16: Comparación del valor calculado a partir del modelo 2 y el valor real. Elaboración propia a partir del modelo.	57
Tabla 17: Extensión de los municipios. Elaborado a partir de la información de Idescat.cat.	59
Tabla 18: Tabla 16: Densidad de población de los municipios. Elaborado a partir de la información de Idescat.cat.	60
Tabla 19: Desglose del presupuesto. Elaboración propia.....	63

Índice de ecuaciones

Ecuación 2: Función del primer modelo propuesto.....	35
Ecuación 3: Modelo 1 definitivo, con los coeficientes	43
Ecuación 4: Función del segundo modelo propuesto	44
Ecuación 5: Modelo 2 definitivo, con los coeficientes	52
Ecuación 6: Modelo 1 final, con los coeficientes.....	54
Ecuación 7: Modelo 2 final, con los coeficientes.....	54
Ecuación 8: Modelo 1 final, con los coeficientes.....	55
Ecuación 9: Modelo 2 final, con los coeficientes.....	56

1. Introducció

En este apartado se introduce la motivación que llevó a la realización del presente proyecto, los objetivos y el alcance que se definieron al inicio de la realización del estudio, la metodología utilizada para llegar a los objetivos y finalmente la planificación seguida en la realización de las diferentes etapas del estudio.

1.1. Motivación

Actualmente todas las ciudades están apostando por una movilidad basada principalmente en el transporte público, ya que en los últimos años se ha llegado a unos niveles de contaminación muy altos dentro de estas mismas ciudades, hasta llegar a niveles nocivos para la salud pública. Por este motivo es de interés analizar como los diferentes flujos socioeconómicos impactan en la demanda de pasajeros.

1.2. Objetivo y Alcance

El objetivo del proyecto es establecer un modelo estadístico que permita determinar la previsión de la futura demanda de pasajeros en función de variables que estén relacionadas a los diferentes flujos socioeconómicos en la línea del Vallès de FGC (Ferrocarriils de la Generalitat de Catalunya).

1.3. Metodología

Para alcanzar el objetivo definido en el apartado anterior se ha seguido una metodología que consiste en las siguientes fases, una primera fase de obtención y tratamiento de los datos, una segunda fase que consiste en el análisis de las variables significativas, una siguiente fase que consiste en la validación estadística del modelo, y finalmente una segunda validación que comprueba si la demanda calculada a partir del modelo se aproxima a la real.

1.4. Planificación

En este apartado se presenta la planificación inicial que se ha seguido en la realización del estudio. En él se identifica las diferentes fases del estudio y la dedicación en número de días que ha llevado la realización de cada una de estas etapas. Todo ello se representa en

el siguiente diagrama.

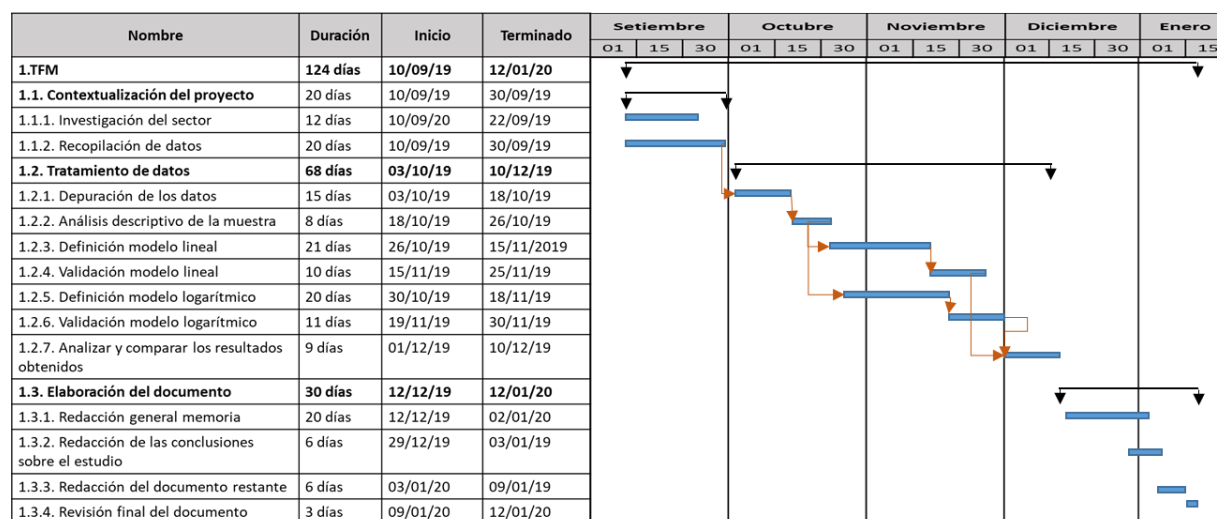


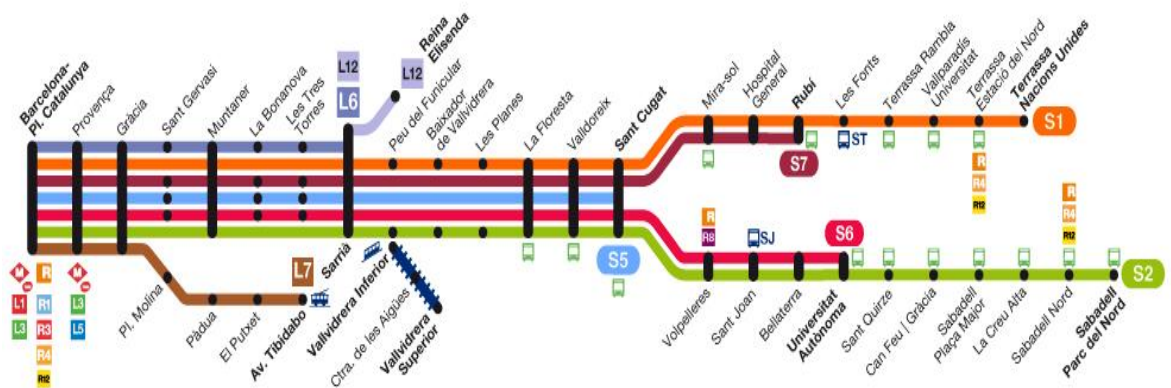
Figura 1: Diagrama de Gantt para la planificación del estudio. Elaboración propia.

2. Datos de partida y determinación de las variables.

En este apartado se explican los datos a partir de los cuales se desarrolla el análisis y cómo se han obtenido, posteriormente se describe su tratamiento y se definen las variables que se utilizan en los modelos finales.

2.1. Datos de partida

Para realizar el estudio, se parte de la demanda real registrada entre los años 2001 y 2018 de la línea del Vallès de FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya) proporcionados por la misma empresa. En la siguiente figura se muestra la línea del Vallès actual.



*Figura 2: Línea Barcelona-Vallès del año 2019. Obtenido a partir de:
<https://www.fgc.cat/es/red-fgc/linea-barcelona-valles/>*

Los datos proporcionados por FGC son anuales y están segmentados para cada una de las estaciones. Para desarrollar el estudio, no es factible realizar el análisis sobre el radio de influencia de cada una de las estaciones, por este motivo se distribuyen las diferentes estaciones en los seis municipios en los que están localizadas. Estos seis municipios son Barcelona, Rubí, Cerdanyola del Vallès, Sant Cugat del Vallès, Terrassa y finalmente Sabadell.

De esta manera, la distribución de las 39 estaciones a lo largo de los 6

municipios es la siguiente.

Municipio	Estación Línea del Vallès	Municipio	Estación Línea del Vallès
Barcelona	PL. CATALUNYA	Sant Cugat del Vallès	LES PLANES
	PROVENÇA		LA FLORESTA
	GRÀCIA		VALLDOREIX
	SANT GERVASI		SANT CUGAT
	MUNTANER		MIRA-SOL
	LA BONANOVA		HOSPITAL GENERAL
	LES TRES TORRES		VOLPELLERES
	SARRIÀ		SANT JOAN
	REINA ELISENDA	Terrassa	LES FONTS
	PL. MOLINA		TERRASSA RAMBLA
	PÀDUA		VALLPARADÍS UNIVERSITAT
	EL PUTXET		TERRASSA ESTACIÓ DEL NORD
	AV. TIBIDABO		TERRASSA NACIONS UNIDES
	PEU DEL FUNICULAR	Sabadell	SANT QUIRZE
	CARRETERA DE LES AIGÜES		SABADELL ESTACIÓ - CAN FEU / GRÀCIA
	VALLVIDRERA SUPERIOR		SABADELL RAMBLA / SABADELL PL. MAJOR
	BAIXADOR DE VALLVIDRERA		LA CREU ALTA
Rubí	RUBÍ		SABADELL NORD
Cerdanyola del Vallès	BELLATERRA		SABADELL PARC DEL NORD
	UNIVERSITAT AUTÒNOMA		

Tabla 1: Distribución de las diferentes estaciones de la Línea del Vallès en los municipios. Elaboración propia.

En la tabla 1 se puede observar que existe una gran diferencia en el número de

estaciones que tiene cada uno de los municipios. Por ejemplo, mientras en el municipio de Barcelona se encuentran 17 de las 39 estaciones de toda la línea, el municipio de Rubí solo dispone de una estación.

Con el objetivo de analizar los datos de partida del estudio, se grafica la evolución de la demanda total de la línea del Vallès entre los años 2001 y 2018.

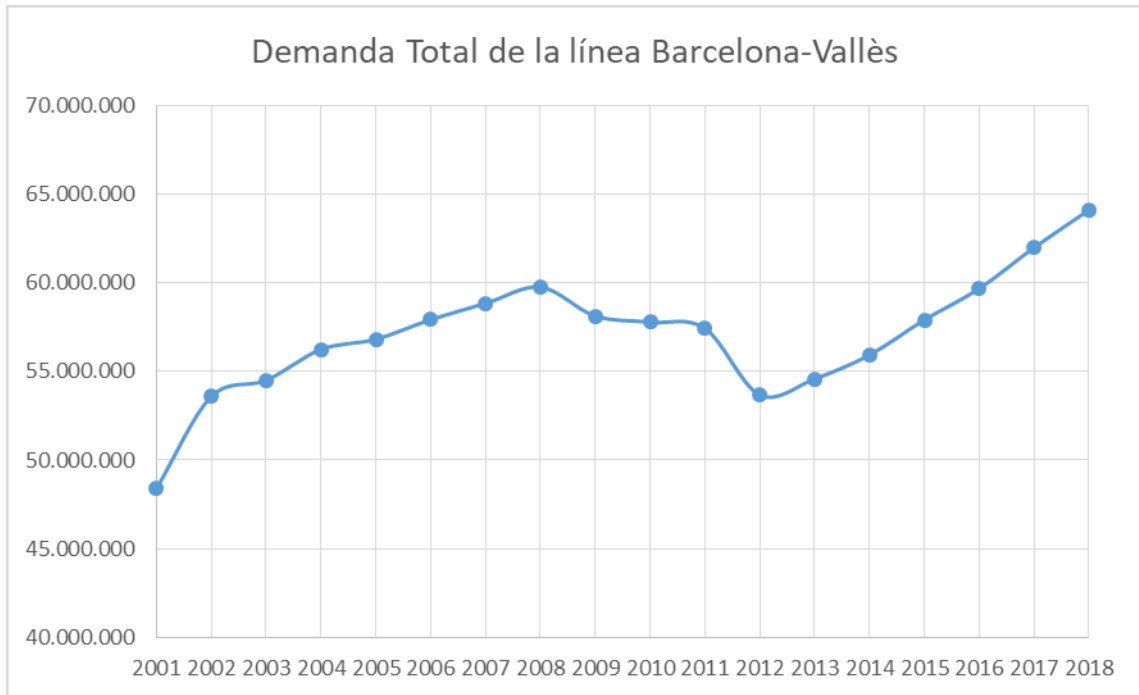


Figura 3: Demanda total de la Línea del Vallès. Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por FGC.

En la figura 3 se observa que la demanda creció de manera significativa entre los años 2001 y 2008 mientras que entre los años 2011 y 2012 hubo una disminución importante del número de viajes. Finalmente, entre los años 2012 y 2018 la demanda experimentó un crecimiento lineal hasta llegar a su máximo absoluto del periodo.

En el siguiente capítulo se identifican las variables socioeconómicas que se utilizan en el estudio para poder analizar el impacto de la situación económica sobre la demanda.

2.2. Variables significativas utilizadas en el modelo

En este punto se presentan las variables relacionadas a los flujos socioeconómicos y que pueden influir en la demanda de pasajeros y que son utilizadas en el modelo.

El PIB per cápita es uno de los indicadores más utilizados para evaluar la situación económica de una región, es por ello que es la primera variable que se analiza. Para analizar si esta variable influye de manera significativa a la demanda, primeramente se gráfica la evolución del PIB per cápita de Catalunya entre el año 2000 y 2018, los datos utilizados son extraídos del INE (Instituto Nacional de Estadística).

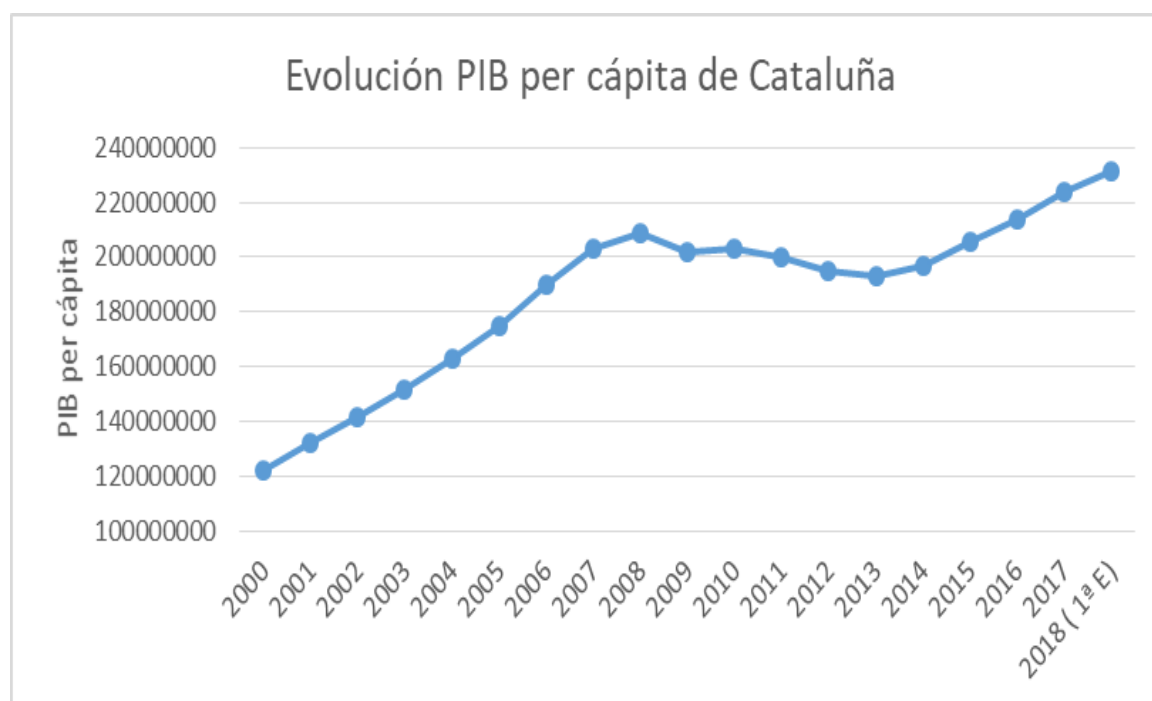
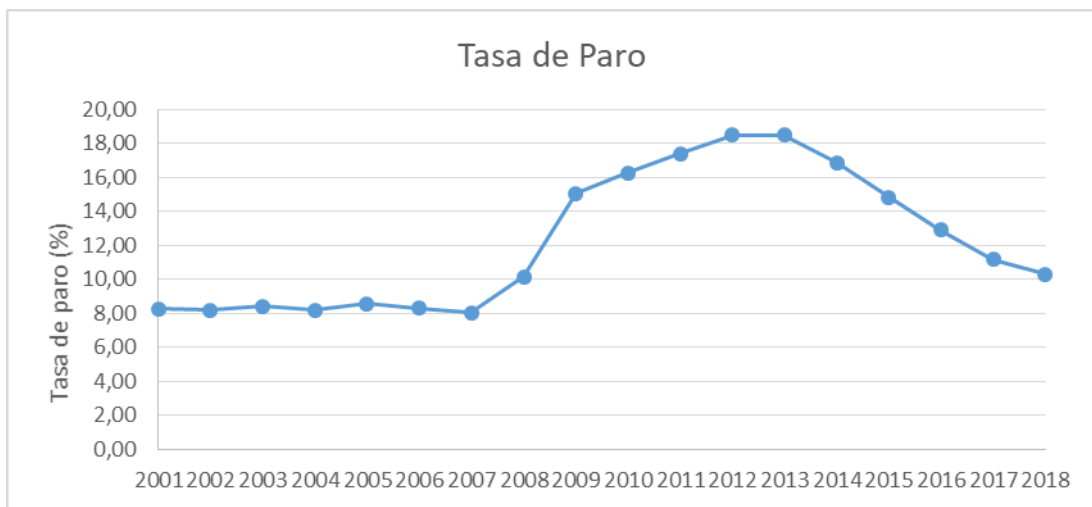


Figura 4: Evolución PIB per cápita de Catalunya. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del INE (Instituto Nacional de Estadística).

En la figura 4, se puede observar que mientras entre los años 2000 y 2008 el PIB per cápita creció de manera, sufrió un leve descenso entre los años 2008 y 2013. A partir del año 2013 se aprecia una recuperación hasta alcanzar el máximo en el año 2018.

Si comparamos la figura 3 y la figura 4 se aprecia que durante los años que aumenta el PIB también aumenta la demanda aunque en diferente medida, mientras que en los años en los que el PIB per cápita disminuye la demanda también disminuye. Este hecho indica que el PIB per cápita es una variable significativa y que influye en la demanda.

La siguiente variable que se analiza es la tasa de paro, esta variable está estrechamente relacionada a la situación socioeconómica de una región, es por ello que también se ha decidido representar su evolución entre los años 2001 y 2018, en este caso la tasa de paro utilizada es la media de los 6 municipios estudiados. En este caso los datos son extraídos de Idescat.



*Figura 5: Tasa de paro medio de los municipios estudiados (Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Sant Cugat del Vallès, Terrassa, Sabadell, Rubí).
Elaboración propia a partir de los datos de Idescat.*

Si comparamos la Figura 3 y la Figura 5, se puede observar que la tasa de paro influye de manera muy significativa a la demanda, ya que cuando la tasa de paro crece de manera importante entre los años 2007 y 2009, en el mismo periodo la demanda disminuye. A partir de esto, se puede identificar una relación inversamente proporcional entre las dos variables.

La siguiente variable incluida en el modelo es el censo de población, porque aunque no está relacionada con los flujos socioeconómicos, se considera necesario incluirla ya que de lo contrario el modelo obtenido no se ajustaría a la realidad.

La variable número de turistas también se ha incluido ya que la matriculación de

coches está muy ligada a la situación económica, no se ha incluido el número de motocicletas ya que al no encontrar ningún registro oficial que las segmente en función de la cilindrada y debido a que según las normativas vigentes de la DGT (Dirección General de Tráfico) existen restricciones de circulación entre municipios en función de la cilindrada, por ello se ha considerado no incluirlas.

La siguiente variable que se incluye en el modelo es el número de estaciones, ya que corresponde a la oferta que da FGC, teniendo en cuenta que la oferta está relacionada a la inversión que realiza la empresa para proporcionar una mayor o menor oferta y que esta también está ligada a la situación económica, también se ha incluido.

Otra variable también incluida en el modelo es la media de edad, aunque no está ligada directamente a aspectos económicos, sí que lo está en aspectos sociales y de la estructura generacional de una región. Los datos de esta variable han sido extraídos de Idescat.

La siguiente variable considerada es el número de universitarios ya que la evolución de los últimos años en número de estudiantes universitarios ha estado muy ligado a la situación económica, ya que está demostrado que cuando la situación económica es adversa, el número de estudiantes disminuye. No se ha considerado el número de estudiantes de primaria ni secundaria, porque la variación de estos estudiantes no depende tan significativamente en función de la situación económica familiar. Los datos de esta variable han sido extraídos de Idescat.

Finalmente, se ha incluido la variable municipio, el motivo de añadir esta variable es porque a partir de ella se pueden incluir un conjunto de variables que no han sido posibles identificar y que por ello no se han tenido en cuenta en el modelo. Es por este motivo que no se considera cuantitativamente. En los próximos apartados se explica cómo se utiliza para el modelo.

En el próximo apartado se realizará un análisis estadístico de cada una de las variables.

3. Análisis estadístico de las variables

En este apartado realiza un análisis estadístico de la muestra, donde se estudiará por separado cada una de las variables presentadas en apartados anteriores.

En la tabla 2 se muestran los primeros pasos de este análisis donde se ha calculado el valor mínimo, máximo, la mediana, la media, la variancia y finalmente la desviación tipo de todas las variables cuantitativas.

	Min	Max	Mediana	Media	Variancia	Desv. Tipo
<i>Demanda</i>	1737162	41977315	2717725	9511700,980	1,874E+14	13688564,100
<i>Censo Población</i>	53481	1621537	132710	368334,287	3,088E+11	555673,785
<i>Núm. Turismos</i>	26105	642414	61430	145536,231	41602501945	203966,914
<i>PIB per Cápita (€)</i>	898,900	76320,400	3713	12533,400	475517905,9	21806,373
<i>Tasa de paro (%)</i>	4,310	23,520	11	12,220	24,617	4,961
<i>Núm. Estaciones</i>	1	17	3	5,509	29,336	5,416
<i>Media de Edad</i>	35,688	44,153	39	39,572	5,600	2,366
<i>Núm. Universitarios</i>	0	127517	5040	24845	1496088270	38679,300

Tabla 2: Análisis estadístico de la muestra. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos.

Presentadas todas las variables utilizadas en el proyecto, se procede al análisis individual de cada una de ellas. El análisis se ha realizado en el mismo orden que aparecen en la tabla 2, dejando por ultima la variable municipio, que al ser una varia cualitativa y no cuantitativa no aparece en la tabla.

Demanda

En la tabla 2 se muestra que la demanda de pasajeros de las diferentes estaciones en los años estudiados oscila entre 1.737.162 y 41.977.315 con una media aproximada de 9.511.701. La mediana 2.717.725, siendo este valor muy inferior a la media.

En la siguiente figura se representa la distribución de las frecuencias de las 108 combinaciones en función del valor de la demanda.

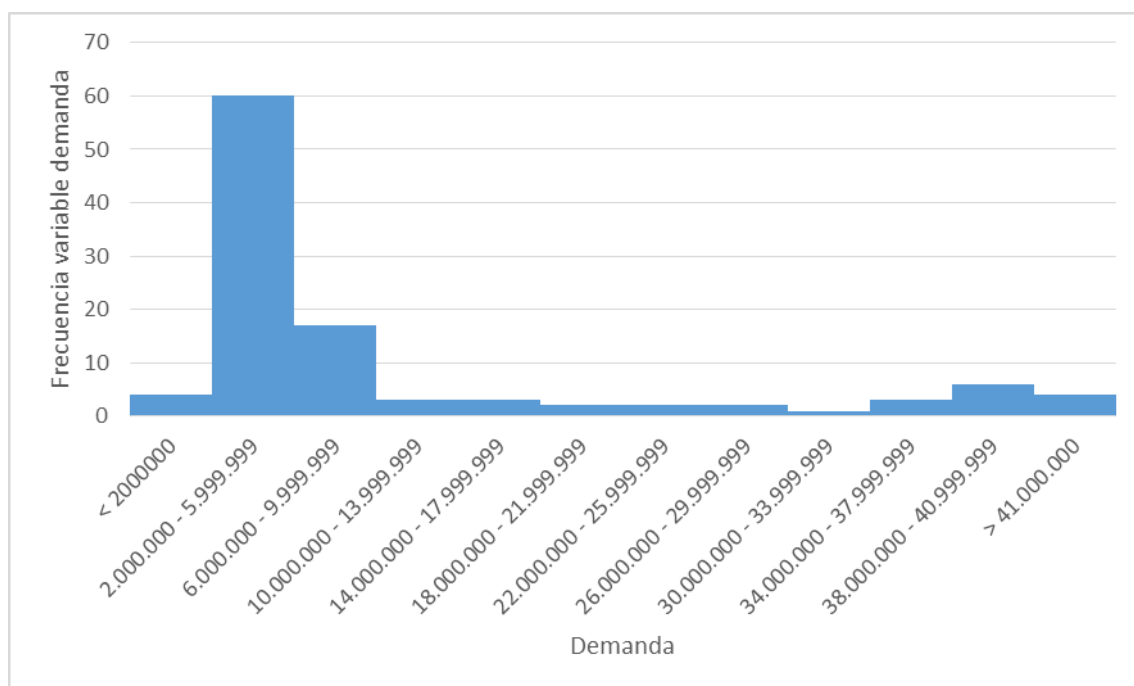


Figura 6: Histograma de la de la demanda. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial

Como se puede apreciar en la figura 6 la mayor frecuencia de observaciones parte de las estaciones que tienen una demanda anual que se encuentra entre 2 y los 6 millones de viajes aproximadamente. Esta concentración de observaciones explica la gran diferencia entre la media y la mediana. Nótese también que en los últimos rangos ha habido un ligero repunte debido a la existencia de estaciones con una demanda muy significativa, concretamente las estaciones pertenecientes al municipio de Barcelona.

Censo de población

En la tabla 2 se muestra que la variable censo de población tiene unos valores que se encuentran entre 53.481 y 1.621.537 habitantes. De nuevo la mediana (132.710) es relativamente inferior a la media (368.334,287) habitantes.

En la Figura 7 se representa un histograma que permite analizar mejor la distribución de las observaciones de la variable censo de población en los años estudiados. Al igual que en el caso anterior, están muy segmentadas.

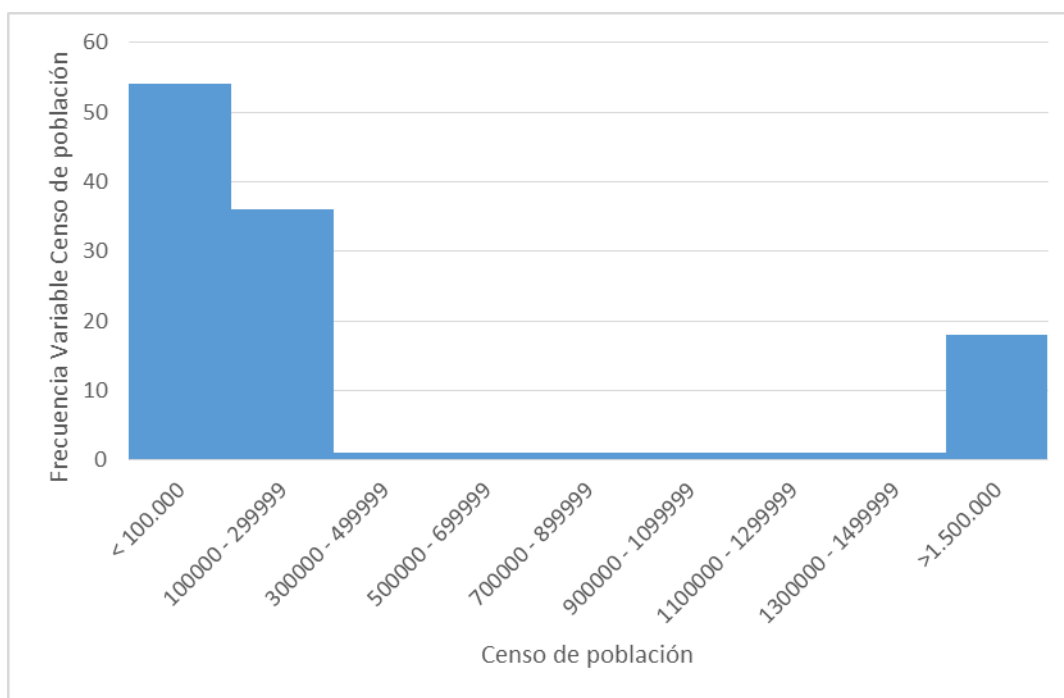


Figura 7: Histograma de la frecuencia de censo de población. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

Como se muestra en la figura 7 la mayor parte de muestras de censo de población son de menos de 100.000 habitantes, seguidamente se encuentran las poblaciones que tienen entre 100.000 y 300.000 habitantes. Finalmente, se a una muestra significativa de más de 1.500.000 habitantes. Como en el caso anterior, en el término medio no hay muestra.

Número de turismos

En la tabla 2 se muestra que la variable número de turismos tiene unos valores que se encuentran entre 26.105 y 642.414 turismos. De nuevo la mediana (61.430) es muy inferior a la media (145.536,231) turismos.

En la figura 8 se presenta nuevamente un histograma que permite visualizar con mayor precisión la distribución de la variable número de turismos de nuestra.

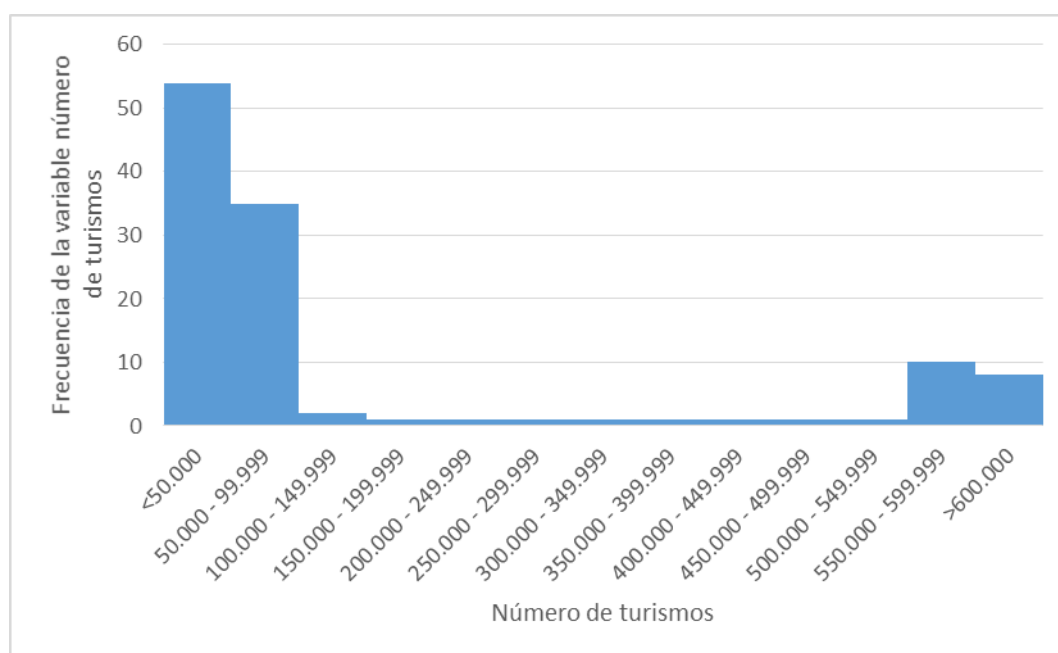


Figura 8: Histograma de la frecuencia de número de turismos. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

En la Figura 8 se aprecia que la mayor frecuencia de observaciones de número de turismos de la muestra se encuentra entre menos de 50.000 y 100.000, también que la frecuencia entre los 550.000 y más de 600.000 es significativa. Como en casos anteriores, se observa que la muestra no está homogéneamente distribuida, sino que se concentra en los dos extremos. Esto se debe a que la muestra contiene 6 municipios de los cuales 5 presentan características muy similares.

PIB per cápita

En la tabla 2 se muestra que la variable PIB per cápita tiene unos valores que se encuentran entre 898,9 y 76.320,4 euros/persona. De nuevo la mediana (3.713) es muy inferior a la media (12.533,4) aunque esta diferencia es menos significativa que en los casos anteriores.

En la figura 9 se muestra nuevamente un histograma que permite visualizar con mayor precisión la distribución de la variable PIB per cápita.

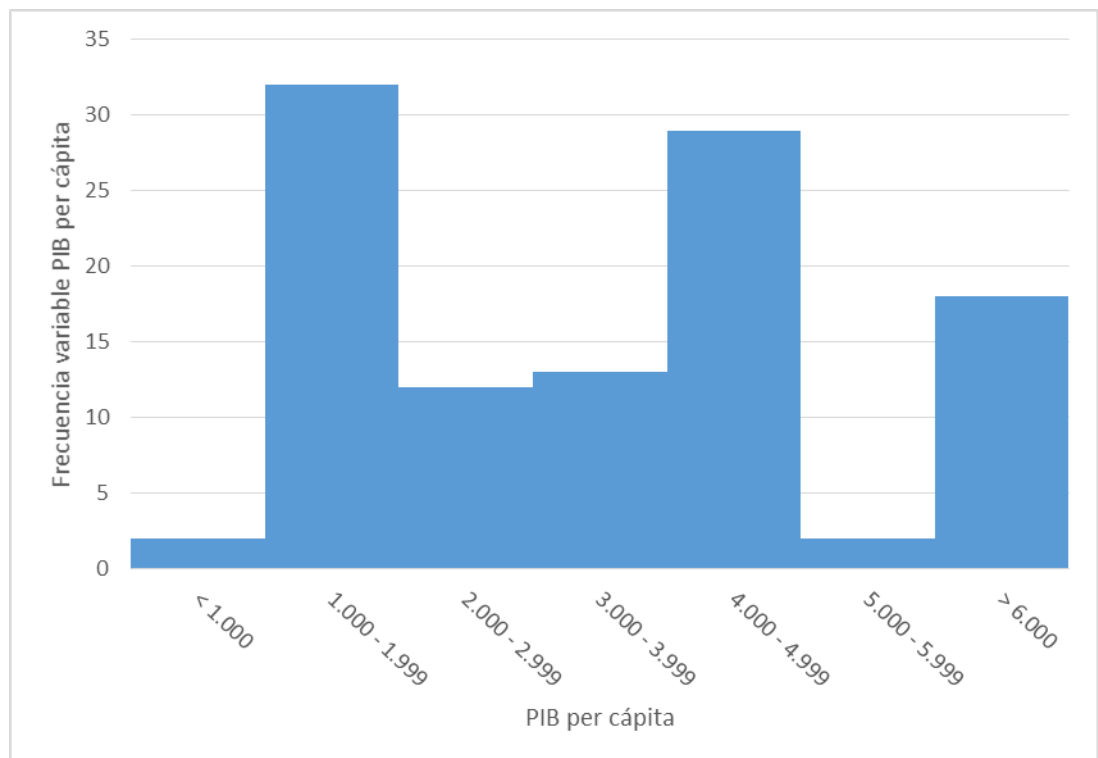


Figura 9: Histograma de la frecuencia del PIB per cápita. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

Como se muestra en la Figura 9, las frecuencias se encuentran más distribuidas que en los casos anteriores. Las frecuencias más significativas se encuentran entre los 1.000 y 2.000 euros por persona y entre los 4.000 y 5.000 euros por persona. Por último, el tramo de más de 6.000 euros también es muy significativo. Es importante recalcar que a diferencia de los casos anteriores, en este caso no hay tramos en los que no haya muestras.

Tasa de paro

En la tabla 2 se muestra que la variable tasa de paro tiene unos valores que se encuentran entre 4,31 y 23,52 %. En este caso la mediana y la media tienen valores muy próximos, estos son de 11 y 12,22% respectivamente.

En la figura 10 se muestra nuevamente un histograma que permite visualizar con mayor precisión la distribución de la variable tasa de paro.

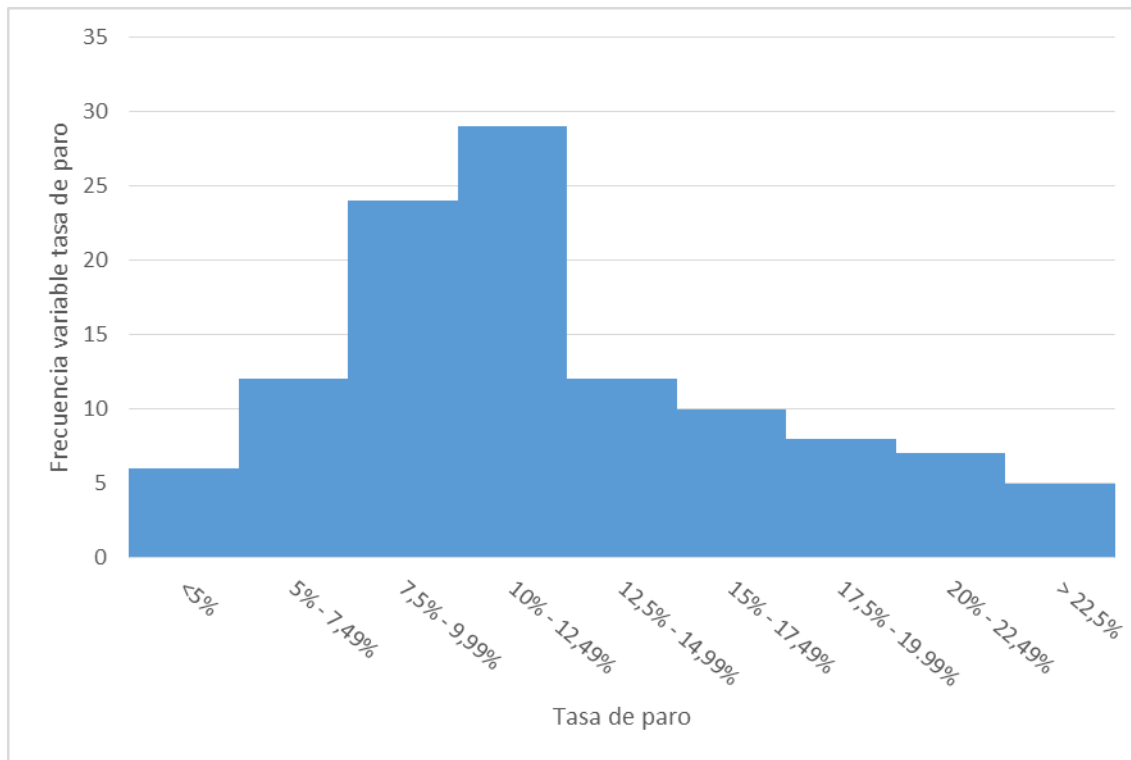


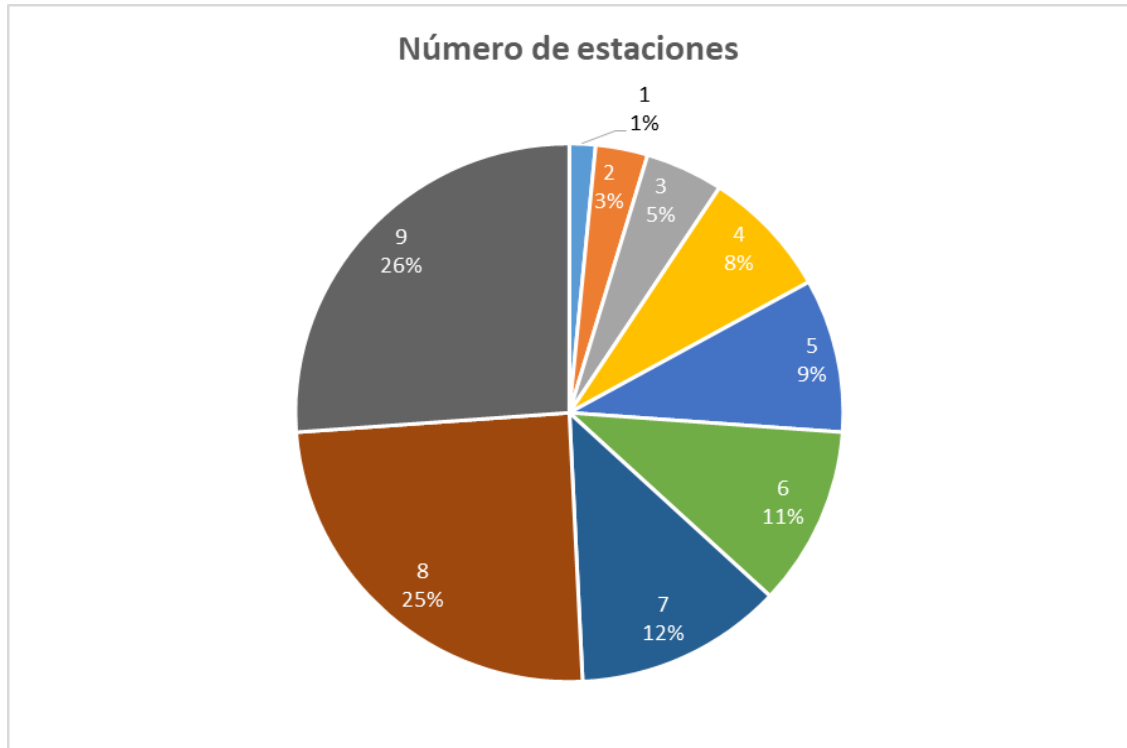
Figura 10: Histograma de la frecuencia de la tasa de paro. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

En la Figura 10 se muestra que a diferencia de los otros casos, las frecuencias están mucho más repartidas, este hecho ya se podía haber predicho teniendo en cuenta la proximidad de los valores de la media y la mediana.

La mayor concentración de los datos de la muestra se encuentra entre una tasa de paro de 7,5% y 12,49% aunque como ya se ha comentado anteriormente los otros tramos tienen una frecuencia significativa. Este hecho se debe principalmente al valor relativo de los datos, es decir al ser valores porcentuales se reduce la diferencia entre los valores.

Número de estaciones

En la tabla 2 se aprecia que la variable Número de estaciones tiene unos valores que se encuentran entre 1 y 17 estaciones. En este caso, la mediana y la media tienen valores muy próximos, siendo de 3 y 5,5 estaciones respectivamente.



*Figura 11: Representación gráfica de la frecuencia del número de estaciones.
Elaboración propia a partir de los datos de la muestra inicial.*

Como se muestra en la Figura 11, aproximadamente la mitad de los municipios estudiados tienen entre 8 y 9 estaciones en los años estudiados. Mientras que aquellos que solo tienen una estación representan solo un 1%. Además en el extremo inferior de la frecuencia (entre 1 y 3 estaciones) se encuentran solo el 9% del total de la muestra.

En la tabla 3 están los valores del número de estaciones desglosadas según los diferentes municipios. Esta es una manera rápida y clara de ver la diferencia entre los municipios.

Número estaciones	1	2	3	5	6	7	8	16	17
<i>Barcelona</i>	0	0	0	0	0	0	0	44%	56%
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	0	100%	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	0	0	0	0	0	50%	50%	0	0
<i>Rubí</i>	100%	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Terrassa</i>	0	78%	0	22%	0	0	0	0	0
<i>Sabadell</i>	0	0	89%	0	11%	0	0	0	0

*Tabla 3: Frecuencia relativa de la variable número de estaciones según municipios.
Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de FGC.*

Como se muestra en la Tabla 3 parte de los municipios de la línea Barcelona – Vallès ha tenido durante todo el periodo analizado el mismo número de estaciones, como pueden ser los municipios de Rubí y de Cerdanyola del Vallès, mientras que en los casos restantes, durante el periodo estudiado ha habido un incremento del número de estaciones. Los diferentes porcentajes corresponden al porcentaje de tiempo que se ha tenido ese número de estaciones.

Además en la Tabla 3 se observa la diferencia de número de estaciones existente entre los diferentes municipios, por ejemplo el municipio de Rubí solo dispone de una estación de la línea analizada, mientras que el municipio de Barcelona dispone de 17 actualmente, siendo este el municipio con mayor número de estaciones.

Media de edad

En la tabla 2 se muestra que la media de edad de los municipios estudiados oscila entre 35,69 y 44,15 años con una media aproximada de 39,58 y una mediana 39. Nótese que estos valores son prácticamente idénticos

En la figura 12 se muestra nuevamente un histograma que permite visualizar con mayor precisión la distribución de la variable media de edad.

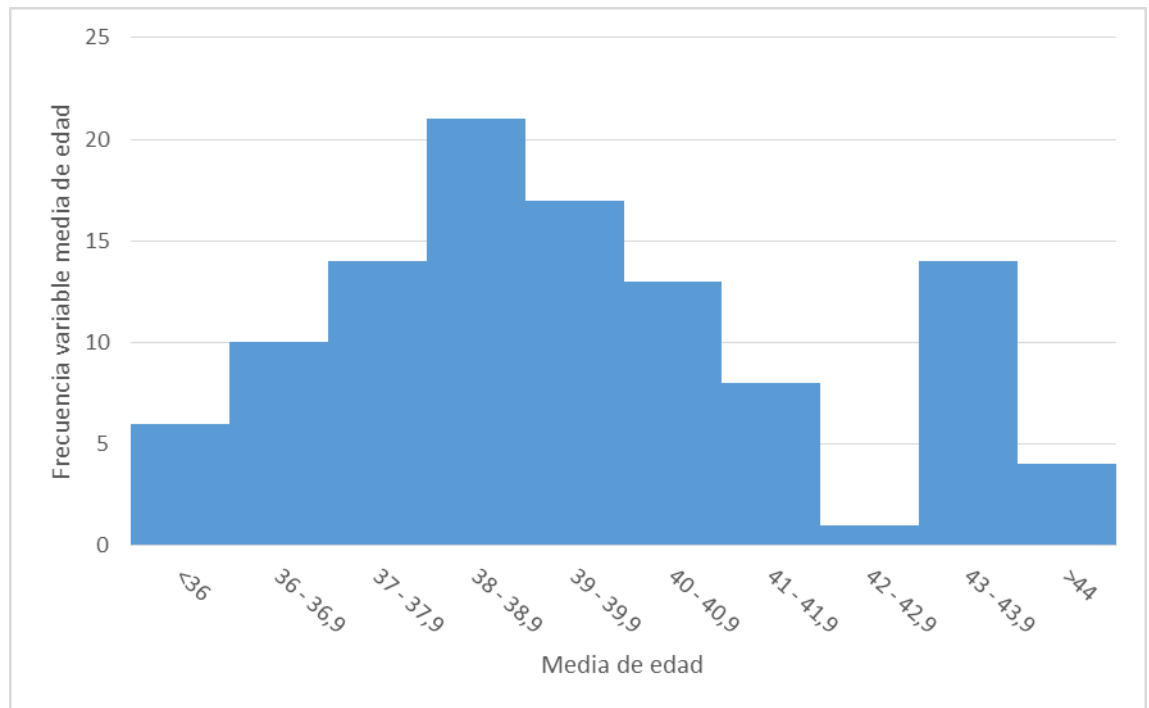


Figura 12: Histograma de la variable Media de edad. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

Como se muestra en la Figura 12 la frecuencia de la muestra está muy distribuida tal y como ha pasado en los algunos casos anteriores.

La mayor frecuencia de observaciones se encuentra en el tramos entre los 38 y 39,9 años, aunque también se puede visualizar un pico de frecuencia en el tramo entre los 43 y 43,9 años. Esto indica que la edad media entre los municipios es muy similar. Un motivo que podría haber causado esta poca disparidad en la muestra puede ser el hecho que los datos con los que se ha trabajado estaban segmentados en tramos de cuatro años, aunque esto no anula el hecho de que la diferencia en la media de edad es muy poco significativa.

Número de universitarios

En la tabla 2 se muestra qué el número de universitarios que cursan los estudios en los municipios estudiados oscila entre 0 y 127.517 estudiantes con una media de 24.845. La mediana es de 5.040. Nótese que el valor de la mediana es significativamente inferior al valor de la media, esto indica que probablemente las frecuencias se concentrarán mucho en algunos tramos.

En la figura 13 se muestra nuevamente un histograma que permite visualizar con mayor precisión la distribución de la variable número de universitarios.

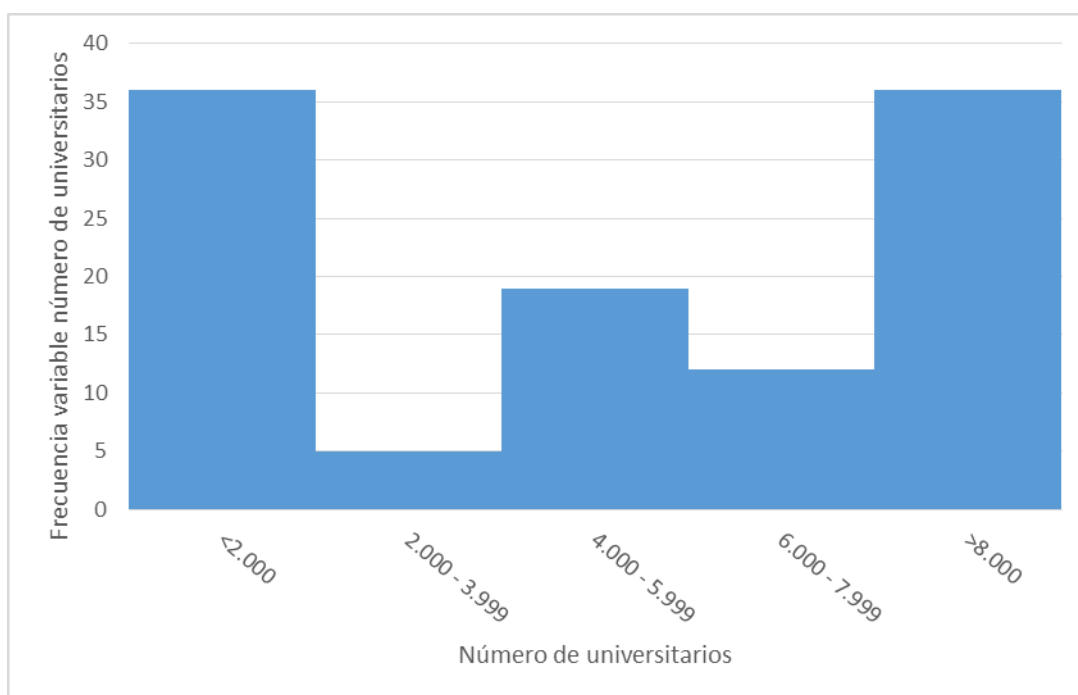


Figura 13: Histograma de la variable Número de universitarios. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra inicial.

En el Figura 13 se muestra que donde hay una frecuencia mayor es tanto en el extremos inferior y superior, esto es debido en gran parte porque el tamaño de los tramos es superior al de los otros tramos, donde este hecho es más significativo es en el tramo de más de 8.000 estudiantes universitarios, ya que recoge datos que van desde los 8.000 estudiantes hasta los 130.000 estudiantes, esta notable disparidad esta mayormente causado por el hecho de que tanto Sant Cugat del Vallès como Barcelona son núcleos universitarios muy importantes y con un rango menor se encuentra Terrassa.

Municipio

Debido a que la variable municipio es una variable cualitativa en el modelo, no se puede realizar una descripción como en los casos anteriores. Es por ello que se realiza un análisis del municipio con unos datos que aunque no se han utilizan en el modelo de forma directa, sí que influyen en la generación del modelo.

	Extensión (Km²)	Población	Densidad (hab/Km²)
<i>Barcelona</i>	101,35	1.636.762	16149,60
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	30,56	57.403	1878,37
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	48,23	91.006	1886,92
<i>Rubí</i>	32,30	77.464	2398,27
<i>Terrassa</i>	70,16	220.556	3143,61
<i>Sabadell</i>	37,79	213.644	5653,45

Tabla 4: Información sobre los municipios estudiados. Elaboración propia a partir de la información extraída de Idescat (Instituto de estadística de catalunya)

Como se muestra en la Tabla 4 el municipio con mayor extensión, población y densidad es el municipio de Barcelona, mientras que el municipio con una menor población es el municipio de Cerdanyola del Vallès. Cabe destacar la densidad del municipio de Sabadell, que es el segundo mayor después de Barcelona, y que aun teniendo una población próxima a la del municipio de Terrassa, su extensión es aproximadamente la mitad.

4. Modelización de la demanda

En este apartado se explica los procedimientos utilizados para estimar la dependencia funcional de la respuesta, que en este caso es la demanda, respecto las variables definidas anteriormente. Previamente se realiza un análisis de la influencia del PIB per cápita sobre la demanda.

4.1. Análisis de la influencia del PIB per cápita

Como se ha comentado a lo largo del trabajo, uno de los objetivos principales es analizar el efecto de la situación socioeconómica sobre la demanda, es por ello que es de relevante importancia comprobar el impacto del PIB per cápita a la demanda.

La figura 14 contiene el gráfico de dispersión con las demandas anuales en los diferentes municipios a lo largo de los años que se analizan en función del PIB per cápita anual de los mismos municipios, junto con la correspondiente recta de regresión y su coeficiente de determinación.

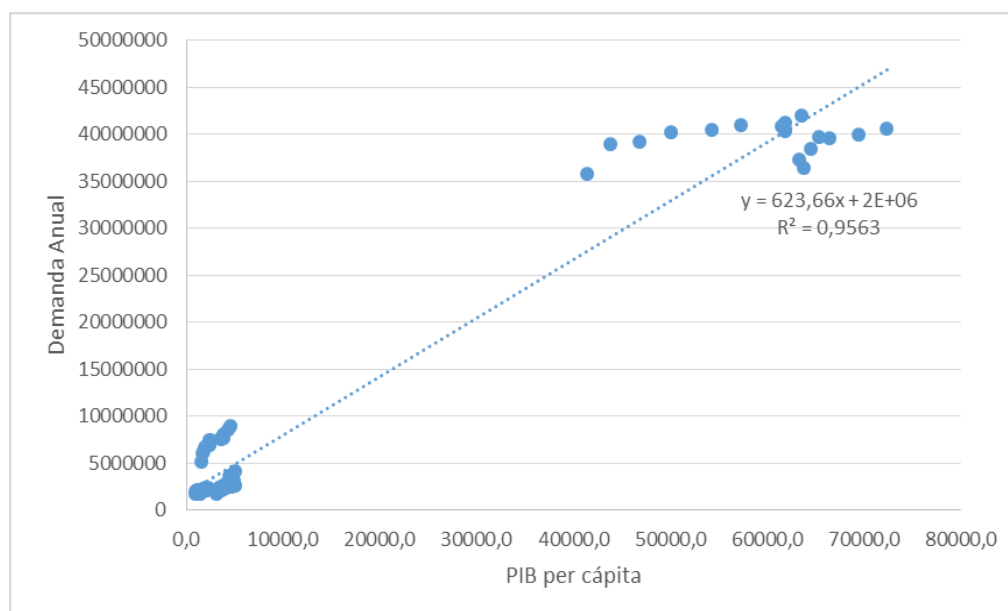
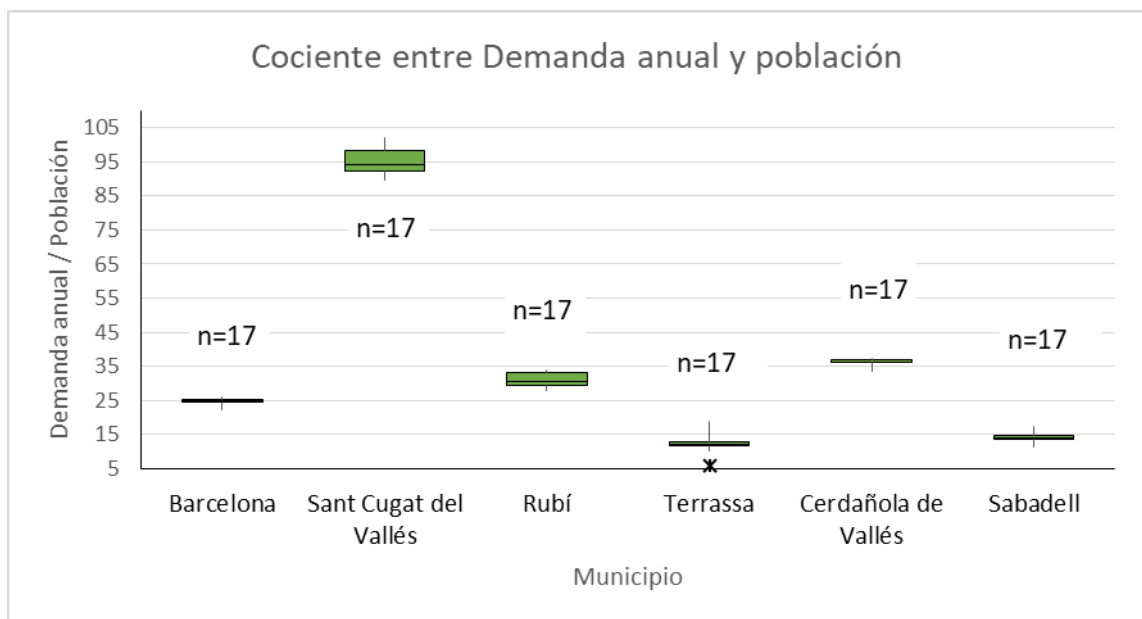


Figura 14: Gráfico de dispersión de la demanda respecto al PIB per cápita.

Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

Como se puede observar en este gráfico, teniendo en cuenta sólo el PIB per cápita ya es posible explicar un porcentaje importante de la variabilidad de la demanda observada. Es decir, efectivamente la demanda de pasajeros en los municipios depende fuertemente del PIB per cápita del mismo municipio (en media, se estima un aumento de 623 pasajeros por cada incremento de 1€/habitante), aunque deben existir otros factores que permitan explicar una parte de la variabilidad restante. Identificar y cuantificar los efectos de estos factores es el objetivo principal de este trabajo.

En el siguiente gráfico se muestra un diagrama de cajas en el que se compara el cociente entre la demanda anual y la población en los diferentes municipios. El coeficiente “n” hace referencia al número de muestras.



*Figura 15: Diagramas de cajas de la demanda por habitante de los 6 municipios.
Elaboración propia a partir de los datos de la muestra.*

En la Figura 15 se muestra como el municipio de Sant Cugat del Vallès es el municipio con mayor demanda por habitante. En el caso de Terrassa por lo contrario, la demanda por habitante es la más baja. También se debe tener en cuenta la longitud de los bigotes, que en el caso de Terrassa es más largo el que va del máximo al tercer cuartil que el que va del mínimo al primer cuartil, esto significa que las demandas que van del máximo al tercer cuartil están más dispersas, o lo que es lo mismo, que habitualmente la demanda en los últimos años está muy por encima a la media de los últimos 10 años.

En vista a este gráfico, parece que existen notables diferencias entre los municipios, unas diferencias que se deben cuantificar sin identificar mediante la variable municipio que está integrada en el modelos inicial. Este gráfico es relevante tal como se ha explicado anteriormente ya que era necesario comprobar si existen diferencias entre los municipios, para así justificar el uso de variables categóricas.

4.2. Modelo lineal

4.2.1. Definición del modelo

Para realizar un modelo lineal primero hay que definir cuál es la respuesta y qué variables quieren utilizarse para explicarla. En nuestro caso se ha definido como respuesta la demanda anual, y las variables son las siguientes:

- Censo de población (X_1)
- Número de turismos (X_2)
- PIB per cápita (X_3)
- Tasa de paro (X_4)
- Número de estaciones (X_5)
- Media de edad (X_6)
- Número de universitarios (X_7)
- Municipio (X_8)

Debido a que todas las variables son cuantitativas menos la variable X_8 se ha definido variables categóricas para poder incluir el municipio en el modelo.

El procedimiento utilizado para modelizar X_8 mediante variables categóricas es el siguiente: primeramente se ha escogido un municipio como referencia y de esta forma se compararán los municipios restantes con el municipio escogido. Según el municipio que se coja como municipio base, los resultados podrían variar. A falta de un orden natural, se escoge el municipio con la demanda media más baja (Cerdanyola del Vallès) ya que de esta forma se detecta mejor las diferencias entre los municipios. Después de haber escogido el municipio base, se define una variable binaria para cada uno de los 6 municipios (Q_2, \dots, Q_6), y se le atribuye en cada demanda valor 1 u 0 depende de si está hace referencia o no al municipio que va asociada la variable.

Ya definida la respuesta y las 14 variables explicativas, se plantea un modelo lineal de la forma:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 + \hat{\beta}_5 X_5 + \hat{\beta}_6 X_6 + \hat{\beta}_7 X_7 + \hat{\beta}_8 X_8 \\ + \hat{\gamma}_2 Q_2 + \hat{\gamma}_3 Q_3 + \hat{\gamma}_4 Q_4 + \hat{\gamma}_5 Q_5 + \hat{\gamma}_6 Q_6 + \hat{\gamma}_7 Q_7$$

Ecuación 1: Función del primer modelo propuesto

Después de haber definido el modelo inicial se plantea hacer una regresión paso a paso hacia atrás, para descartar una a una las variables que no sean significativas.

Procedemos a realizar la estimación de los coeficientes y el diagnóstico del modelo. En el primer paso se obtienen los valores expuestos en las tablas. En la tabla 5, la tabla 6 y la tabla 7.

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0,999
Coeficiente de determinación R²	0,999
R² ajustado	0,988
Error típico	467854,08

Tabla 5: Estadísticas de la regresión. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

De la Tabla 5 el término más significativo es en el coeficiente de determinación R² ya que define la calidad del modelo. En el caso del modelo lineal el coeficiente es de 0,999 y al estar muy próximo a 1, indica que el modelo es capaz de explicar una parte muy importante de la variabilidad del precio.

A continuación se muestra la tabla 6 donde se puede visualizar tanto los grados de libertad del modelo lineal como el nivel de significación (F) del mismo modelo.

	Grados de libertad	F	Valor crítico de F
Regresión	13	104,67894	3,995E-127
Residuos	89		
Total	102		

Tabla 6: ANOVA de la regresión lineal. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

En la Tabla 6 el término más significativo es el nivel de significación (bajo el epígrafe “valor crítico de F”) ya que indica si se acepta o no el modelo establecido. En el caso del modelo lineal al dar un valor pequeño confirma que el modelo es significativo, y que es aceptable si el resto de herramientas de diagnóstico dan resultados favorables, por lo contrario si el coeficiente hubiera salido muy alto (mayor a 300 aproximadamente), la regresión lineal no sería útil para explicar la respuesta.

Después de haber analizado las dos tablas anteriores (la 5 y la 6) se procede a analizar la Tabla 7 donde se observa cómo influye cada uno de los factores de control sobre la respuesta, y así obtener el modelo final.

	Coeficientes	Error típico	Probabilidad
Intercepción	-13363810	2630438,6	2,05852E-06
Censo Población	30,5571585	6,31767389	5,495E-06
Número Turismos	38,4810275	7,89646237	4,75225E-06
PIB per Cápita	220,724518	41,5958673	8,11233E-07
Tasa de Paro	-57979,601	13843,0224	6,59607E-05
Número Estaciones	4008,97714	85701,116	0,962794503

Media Edad	186791,097	61736,4685	0,003243546
Número Universitarios	180,669206	28,2844751	7,48914E-09
Barcelona	-58929121	8194017,23	1,91163E-10
Sant Cugat del Vallès	9224111,34	1005090,34	1,61226E-14
Rubí	5472976,37	936932,461	8,33615E-08
Terrassa	-2252357,4	1287593,18	0,083690396
Cerdanyola del Vallès	2256451,745	1277473,909	0,006765309
Sabadell	-1199021,2	1396230,62	0,004875309

Tabla 7: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 1; paso 1. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

De la Tabla 7 primeramente se tiene que visualizar la columna definida como probabilidad, en términos estadísticos, esta se define como p-value, y determina la significación de cada coeficiente. Para que se pueda considerar que un coeficiente es significativo, este debe tener un valor máximo igual al riesgo con que deseamos trabajar (un 5%), este riesgo se ha define teniendo en cuenta que sea lo suficientemente grande como para que acepte posibles discrepancias en la muestra y lo suficientemente pequeño para que el resultado se aproxime a la realidad. En la regresión paso a paso se elimina uno por uno cada uno de los términos que no sean significativos.

Después de eliminar cada término se repite el proceso, hasta que no haya ningún término no significativo (con un p-value superior a 0,05). En este primer paso, el término a eliminar es el de la variable cuantitativa correspondiente a la variable Número de estaciones.

De la página 11 a la página 14 en el anexo están cada una de las tablas resultantes del proceso de regresión lineal paso a paso.

Después de haber repetido el proceso anterior, eliminando cada una de las variables necesarias, las variables eliminadas son, Número de Estaciones y las variables categóricas Terrassa y Cerdanyola del Vallès en este orden.

El modelo definitivo resultante del proceso es el que se muestra en la Tabla 8, donde se puede observar que todos los coeficientes ya son significativos. Para este modelo, se ha obtenido un coeficiente de determinación igual a 0,998.

	Coeficientes	Error típico	Probabilidad
Intercepción	-15048064	2364156,98	7,764E-09
Censo Población	23,5467734	4,73439157	3,0835E-06
Número Turismos	32,7113149	7,22402034	1,7984E-05
PIB per Cápita	263,519836	33,9207787	1,1507E-11
Tasa de Paro	-50496,198	13156,2667	0,00022858
Media Edad	209413,354	57469,9708	0,00044646
Número Universitarios	218,924968	18,1297391	1,3313E-20
Barcelona	-50273276	6502184,62	1,3709E-11
Sant Cugat del Vallès	10504510,3	462871,197	3,0809E-39
Rubí	6797636,27	558160,763	8,2263E-21
Sabadell	1221555,53	212595,719	1,2017E-07

Tabla 8: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 1; paso 3. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

Como se muestra en la Tabla 8 solo han quedado como regresores el censo de población, el Número de turismo, el PIB per Cápita, la Tasa de Paro, la Media de Edad, el Número de Universitarios, y las variables categóricas correspondientes a los municipios Barcelona, Sant Cugat del Vallès, Rubí y Sabadell.

Una vez alcanzado el modelo lineal definitivo se verifica si realmente se cumplen los supuestos del modelo lineal. Por ese motivo primeramente se analizan los residuos.

4.2.2. Validación del modelo

En este apartado se muestra el proceso seguido para la validación de cada una de las variables y la comprobación de que no sea necesaria ningún término cuadrático

En primer lugar en la Figura 16 se representa los residuos en función de los valores modelizados, para verificar que la variancia es constante.

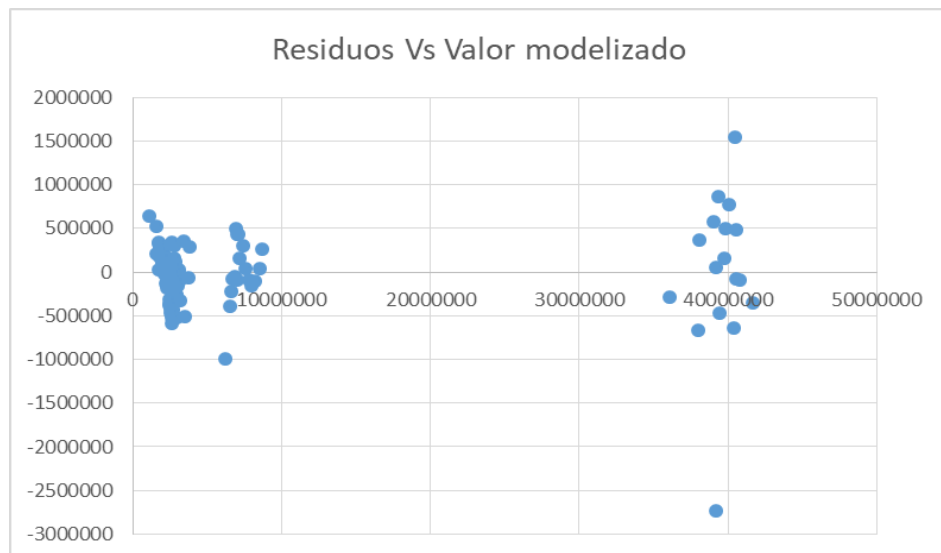


Figura 16: Análisis de los residuos. Elaboración propia a partir de los valores obtenidos del modelo lineal.

En la Figura 16 se muestra que los valores de los residuos están distribuidos de manera que no forman ninguna figura que nos indique que los datos son heterocedásticos, si la distribución tuviera una forma próxima a una trompeta, no se podría haber validado el modelo. Por este motivo, se puede aceptar la hipótesis de normalidad. Para ello, se representa un gráfico probabilístico normal de los residuos. Este grafico está representado en la Figura 16.

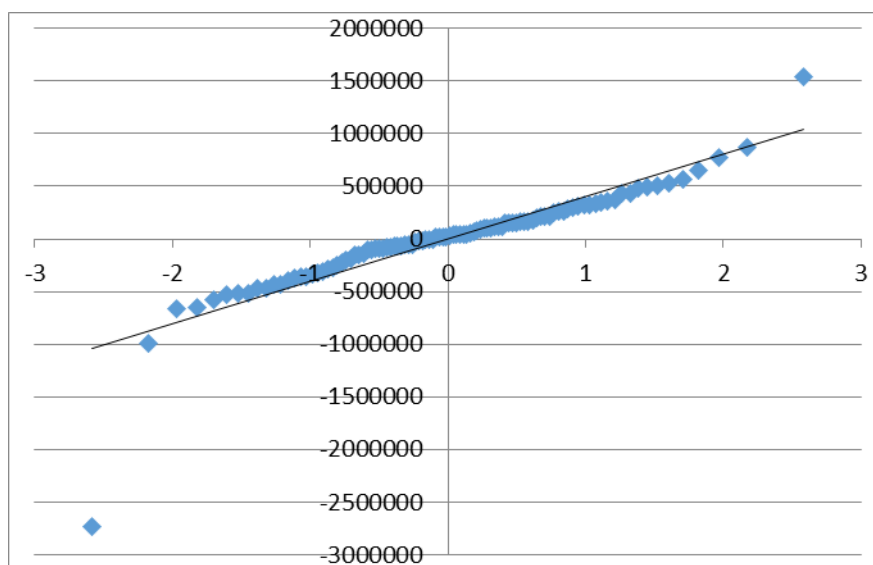


Figura 17: Gráfico probabilístico normal. Elaboración propia a partir de los valores del modelo propuesto.

En la Figura 17 se puede apreciar como todos los puntos están razonablemente alineados, esto indica que se puede aceptar la hipótesis de normalidad.

Ahora para realizar la última confirmación, se analiza los residuos de cada una de las variables que han quedado en el modelo final. Esta última comprobación confirma si el modelo es correcto y que no faltan términos adicionales. La Figura 18 es la representación de los residuos versus la variable Censo de población.

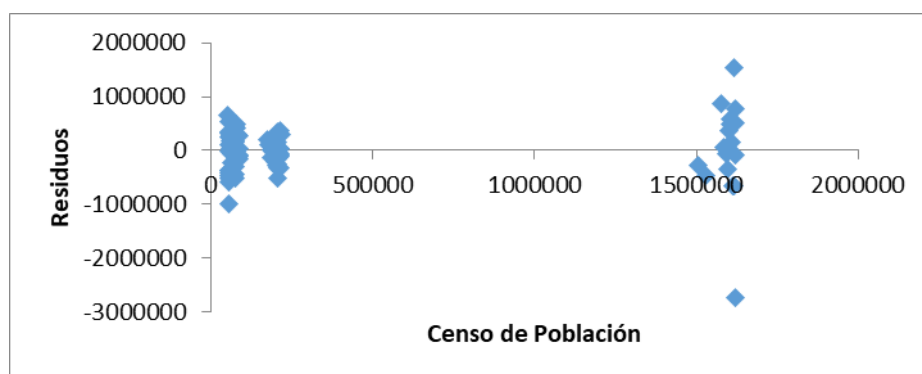
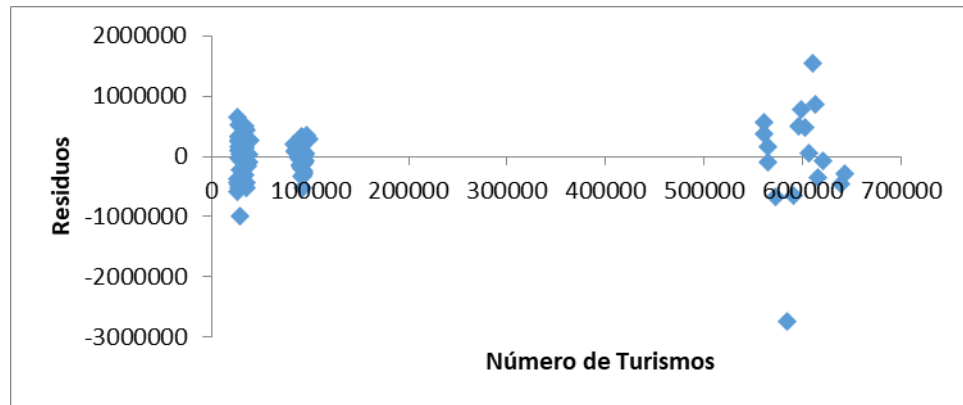


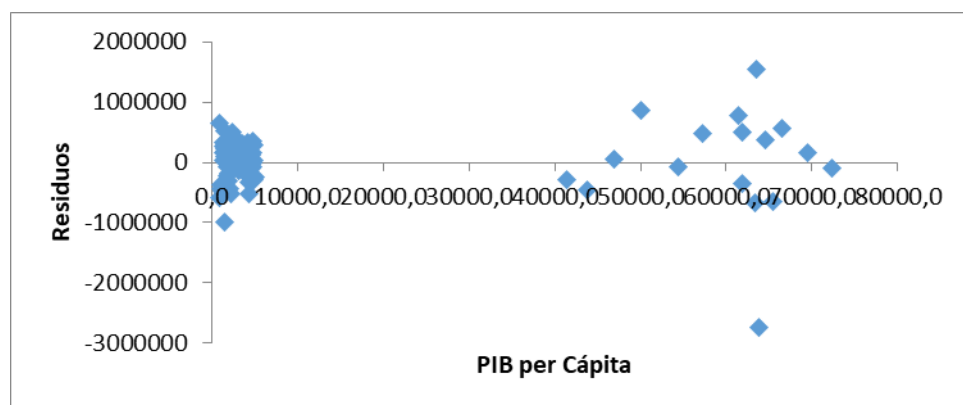
Figura 18: Representación de los residuos de la variable Censo de población. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

Como se muestra en la Figura 18 la variable censo de población no muestra ninguna anomalía. Si fuese necesario un término cuadrático con esta variable, ese comportamiento cuadrático se aprecia en el gráfico representando los residuos con un crecimiento cuadrático. En la siguiente figura se muestra los residuos del modelo versus la variable número de turistas.



*Figura 19: Representación de los residuos de la variable número de turistas.
Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.*

En este caso igual que el anterior no se muestra ninguna anomalía que haga incluir nuevos términos en el modelo. En la figura 20 se representan los residuos de la variable PIB per cápita.



*Figura 20: Representación de los residuos de la variable PIB per Cápita.
Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.*

En este caso igual que en todos los anteriores no se encuentra nada en el gráfico de dispersión que haga rechazar la variable PIB per Cápita.

En la próxima figura se muestra el gráfico de los residuos de la variable Tasa de Paro.

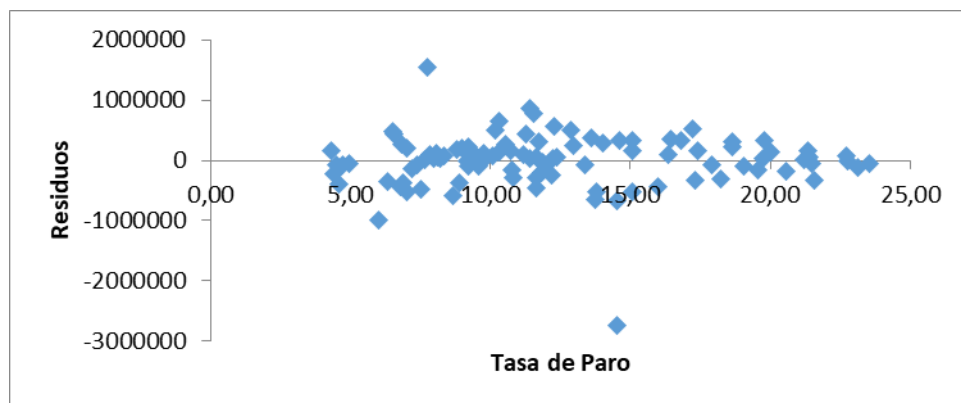


Figura 21: Representación de los residuos de la variable Tasa de Paro. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En este caso igual que el anterior no se muestra ninguna anomalía que haga incluir nuevos términos en el modelo. En la figura 22 se representan los residuos de la variable media de edad.

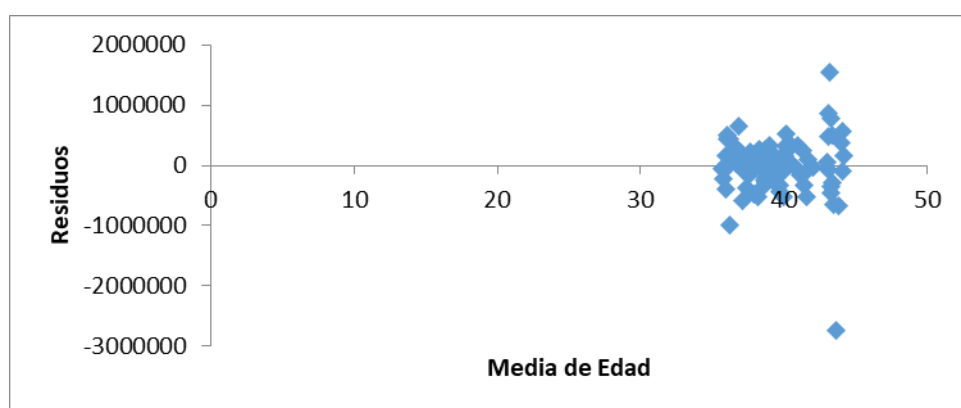


Figura 22: Representación de los residuos de la variable Media de Edad. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En este caso igual que en todos los anteriores no se encuentra nada en el gráfico de dispersión que haga rechazar la variable media de edad. En la próxima figura se se representa el gráfico de los residuos de la variable número de universitarios.

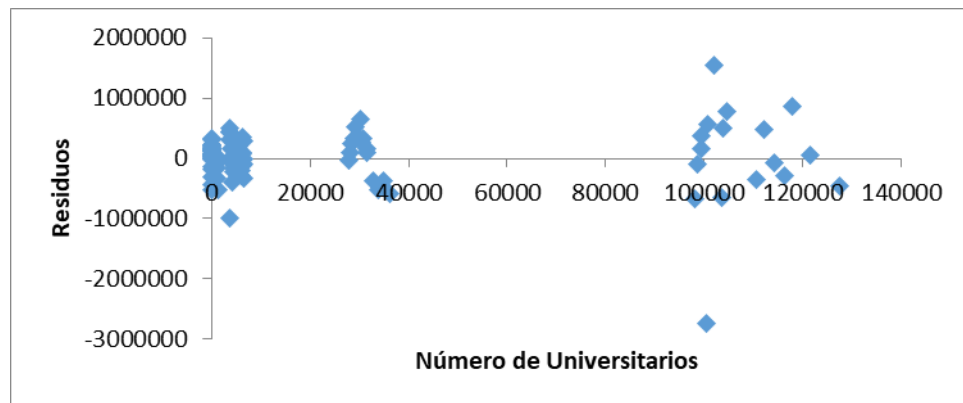


Figura 23: Representación de los residuos de la variable Número de Universitarios. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En este caso no se encuentra ninguna anomalía que haga rechazar esta variable.

Como se ha podido ver en todas las figura anteriores de las variables que pertenecen al modelo final no hay ninguna anomalía que haga rechazar ninguna de las variables. Por este motivo se puede confirmar que todas las variables del modelo final son significativas y aceptables.

Por ello la función resultante del modelo lineal está definida de la siguiente manera.

$$\hat{Y} = -15,048 * 10^6 + 23,548X_1 + 32,711X_2 + 263,520X_3 - 50,468 * 10^3X_4 + 209,413 * 10^3X_6 + 218,925X_7 - 50,274 * 10^6Q_2 + 10,504 * 10^6Q_3 + 67,967 * 10^5Q_4 + 12,220 * 10^5Q_7$$

Ecuación 2: Modelo 1 definitivo, con los coeficientes

Sabiendo que:

- Censo de población (X_1)
- Número de turismo (X_2)
- PIB per cápita (X_3)
- Tasa de paro (X_4)

- Media de edad (X_6)
- Número de universitarios (X_7)
- Barcelona (Q_2)
- Sant Cugat del Vallès (Q_3)
- Rubí (Q_4)
- Sabadell (Q_7)

4.3. Modelo logarítmico

4.3.1. Definición del modelo

Aunque el modelo anterior donde la respuesta era la demanda se ha podido admitir ya que todas las comprobaciones han sido favorables, se busca una alternativa que dé un mejor resultado, ya sea conteniendo alguna variable más en el modelo o reduciendo el error. La propuesta ahora es utilizar como respuesta el logaritmo neperiano de la demanda, ya que de esta manera se podrá reducir de manera significativa los errores. El modelo planteado esta vez tiene los mismos términos que el anterior.

$$\ln(\widehat{Y}) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 + \hat{\beta}_5 X_5 + \hat{\beta}_6 X_6 + \hat{\beta}_7 X_7 + \hat{\beta}_8 X_8 \\ + \hat{\gamma}_2 Q_2 + \hat{\gamma}_3 Q_3 + \hat{\gamma}_4 Q_4 + \hat{\gamma}_5 Q_5 + \hat{\gamma}_6 Q_6 + \hat{\gamma}_7 Q_7$$

Ecuación 3: Función del segundo modelo propuesto

Como se ha realizado en el caso anterior, primeramente se debe comprobar que el coeficiente de determinación y los otros datos sean los correctos, y que de esta manera digan que el modelo es de buena calidad.

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0,99823139
Coeficiente de determinación R²	0,9964659
R² ajustado	0,98475344
Error típico	0,06697182

Tabla 9 : Estadísticas de la regresión del segundo modelo. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

En este caso, igual que en el anterior, se muestra que el coeficiente de determinación R^2 sigue estando muy próximo a 1, hecho que indica que al igual que en el primer modelo este, será capaz de explicar una parte muy importante de la variabilidad de la demanda.

A continuación se muestra la tabla 10 donde se puede visualizar tanto los grados de libertad del modelo logarítmico como el nivel de significación (F) del mismo modelo.

	Grados de libertad	F	Valor crítico de F
Regresión	13	91,185	1,336E-103
Residuos	89		
Total	102		

Tabla 10: ANOVA de la regresión lineal del segundo modelo. Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.

En este caso, ha habido una mejora significativa, ya que el coeficiente F también llamada p-value, es inferior al obtenido en el modelo anterior. Esto indica que al igual que en el caso anterior, también se puede validar este modelo.

Después de haber analizado las dos tablas anteriores (la 9 y 10) se procede a analizar la Tabla 11 donde nuevamente se puede visualizar cada uno de los factores de control sobre la respuesta, y así obtener el modelo final.

	Coefficientes	Error típico	Probabilidad
Intercepción	12,9085759	0,37653887	4,5449E-53
Censo Población	3,8636E-06	9,0435E-07	4,838E-05
Número Turismos	4,4049E-06	1,1304E-06	0,00018839
PIB per Cápita	5,9145E-06	5,9543E-06	0,32325101
Tasa de Paro	-0,0018513	0,00198158	0,3526971

Número Estaciones	0,08123391	0,01226784	2,6076E-09
Media Edad	0,02152246	0,00883738	0,01686985
Número Universitarios	9,6789E-06	4,0488E-06	0,01893096
Barcelona	-7,862996	1,17294736	1,7977E-09
Sant Cugat del Vallès	1,00542338	0,14387547	4,8921E-10
Rubí	0,38994956	0,13411889	0,00459865
Terrassa	-0,4323644	0,18431485	0,0212086
Cerdanyola del Vallès	9,6789E-06	4,0488E-06	0,4216783
Sabadell	-0,3582062	0,19986595	0,35325101

*Tabla 11: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 2; paso 1.
Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.*

Repitiendo el mismo proceso que en apartado definición del modelo lineal, se obtiene la Tabla 11, parecida a la Tabla 8 pero con coeficientes diferentes.

	Coeficientes	Error típico	Probabilidad
Intercepción	12,90857594	0,376538873	4,5449E-53
Censo Población	3,86357E-06	9,04355E-07	4,83804E-05
Número Turismos	4,40486E-06	1,13035E-06	0,000188394
PIB per Cápita	5,91449E-06	5,95432E-06	0,00323251
Tasa de Paro	-0,001851317	0,001981584	0,003526971
Número Estaciones	0,08123391	0,012267841	2,60763E-09
Media Edad	0,02152246	0,008837378	0,016869851

Número Universitarios	9,67893E-06	4,04883E-06	0,018930958
Barcelona	-7,812996004	1,172947363	1,79775E-09
Sant Cugat del Vallès	1,125423382	0,143875468	4,8921E-10
Rubí	0,400049559	0,134118886	0,004598655
Terrassa	-0,232364381	0,184314847	0,021208596
Sabadell	-0,358206226	0,19986595	0,046493832

*Tabla 12: Prueba de significación de los coeficientes del modelo 2; paso 2.
Obtenida a partir de los datos de la muestra mediante el programa Excel.*

A diferencia de lo ocurrido en el caso anterior ahora han resultado significativas las variables número de estaciones y la variable categórica Terrassa, por lo contrario sigue siendo no significativa la variable categórica Cerdanyola del Vallès.

Además es importante decir que en este último modelo el nivel de significación es de 0,996, al seguir estando muy próximo a 1, se puede considerar que es un buen resultado. Nuevamente se valida el modelo representando los residuos en función de los valores modelizados para confirmar como en el caso anterior si el modelo es admisible.

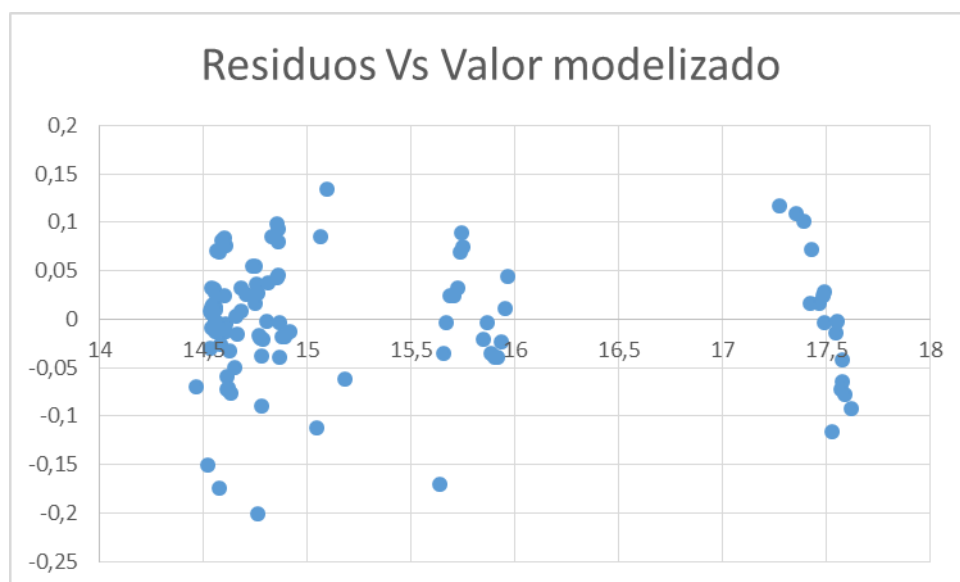


Figura 24: Análisis de los residuos del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores obtenidos del modelo lineal.

Como se muestra en la Figura 24 donde se muestra la distribución de los residuos, no se intuye ninguna figura que indique que los datos son heterocedásticos. Por este motivo, nuevamente se puede aceptar que la varianza es constante. El siguiente paso es comprobar si se puede aceptar la hipótesis de normalidad. Para ello, se representa un gráfico probabilístico normal de los residuos. Este grafico está nuevamente representado en la Figura 25.

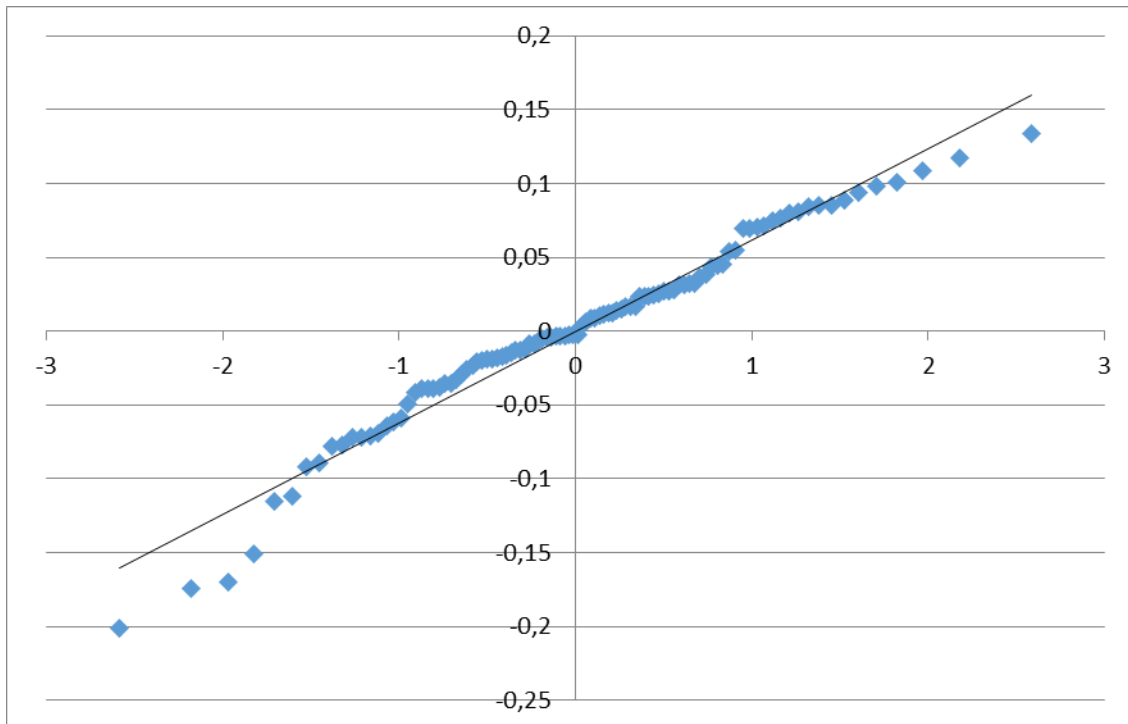


Figura 25: Gráfico probabilístico normal del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores del modelo propuesto.

Tal como se muestra en la Figura 25 la mayor parte de los puntos se encuentran alineados, esto indica que se puede aceptar la hipótesis de normalidad.

Ahora tal como se ha realizado con el primer modelo presentado, se comprueba los residuos de cada una de las variables, para comprobar si es necesario introducir algún término cuadrático. Además esta ya es la última comprobación de validación del modelo.

4.3.2. Validación del modelo

En la Figura 26 se representan los residuos de la variable censo de población.

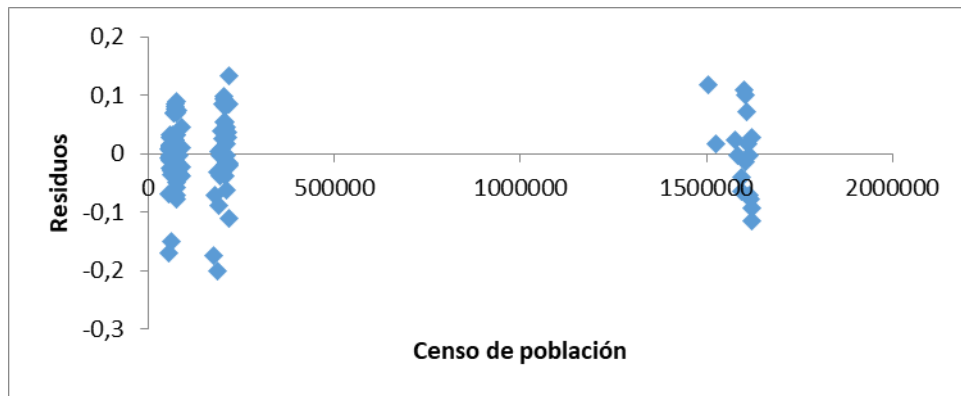


Figura 26: Representación de los residuos de la variable Censo de población del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

Tal como se muestra en la figura esta variable no necesita ningún término cuadrático, ya que si fuera necesario este término, quedaría reflejado claramente en el gráfico. En la figura 27 están representados los residuos de la variable número de turistas.

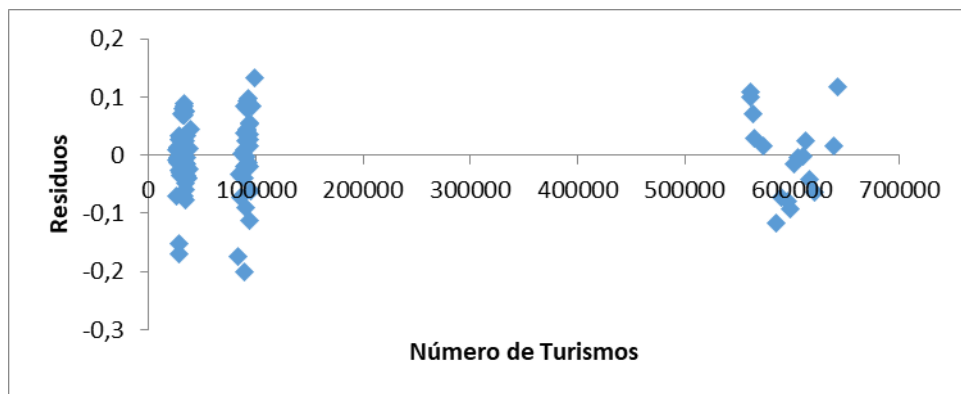


Figura 27: Representación de los residuos de la variable Número de turistas del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En la Figura 27 se muestra como nuevamente la distribución de los residuos no hacen intuir ni que no se pueda aceptar la variable, ni que sea necesario ningún término cuadrático.

En la figura 28 se representa la distribución de los residuos de la variable PIB per cápita.

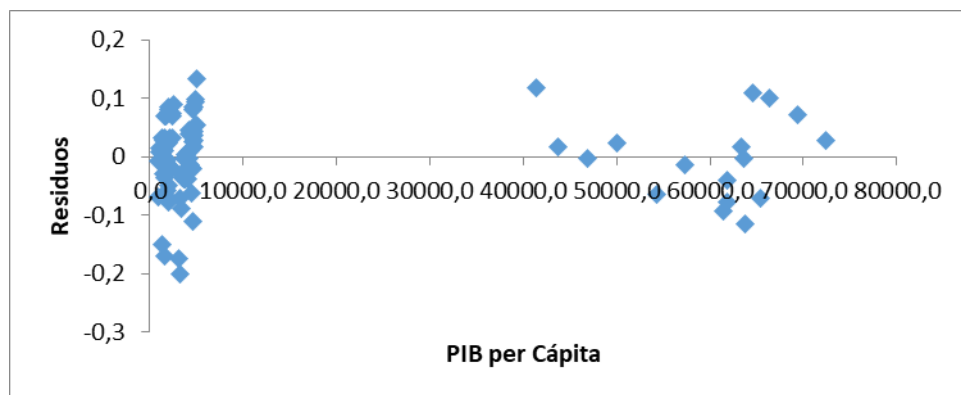


Figura 28: Representación de los residuos de la variable PIB per Cápita del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En la Figura 28 se puede comprobar como ya se esperaba que la variable es validada y que además no es necesario incluir un término cuadrático. En la próxima figura se muestra la distribución de los residuos de la variable tasa de paro.

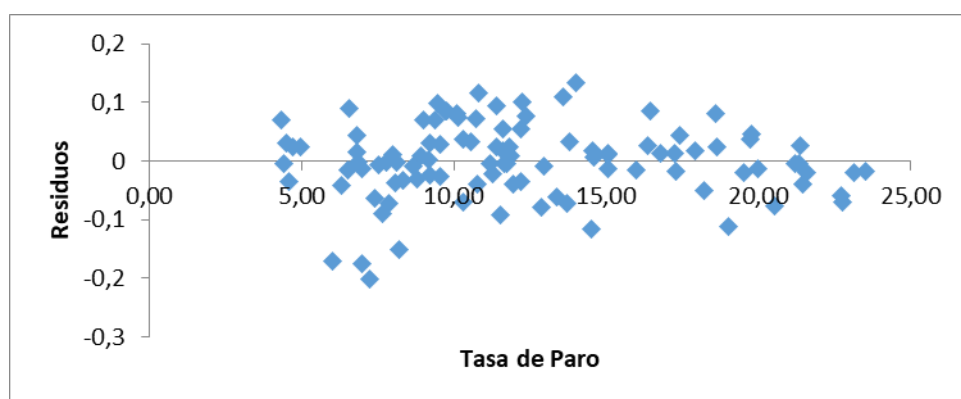


Figura 29: Representación de los residuos de la variable Tasa de Paro del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

Como en los casos anteriores la variable es válida y no es necesario incluir ningún término cuadrático. En la próxima figura se muestra los residuos de la variable número de estaciones, en el modelo anterior esta variable no fue incluida, ya que finalmente se indicó que no era significativa.

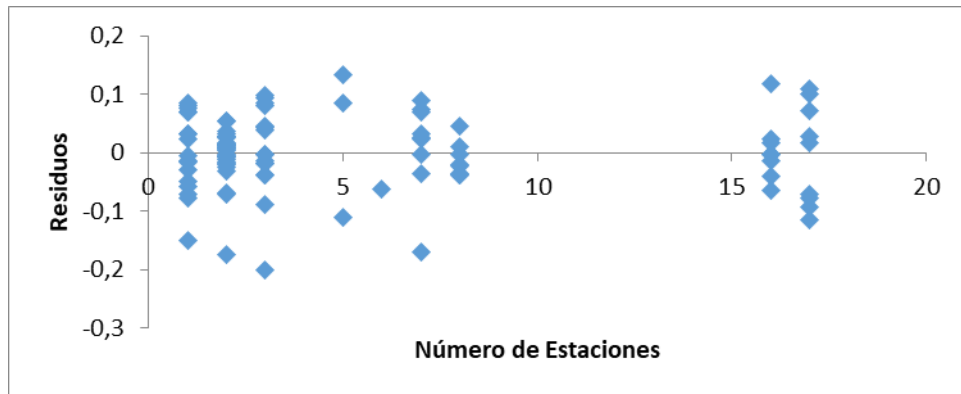


Figura 30: Representación de los residuos de la variable Número de estaciones del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

Como ha sucedido en los casos anteriores la variable es aceptada por el modelo y además no es necesario incluir ningún termino cuadrático, ya que la distribución no indica que sea necesario. En la próxima figura se muestran los residuos de la variable media de edad.

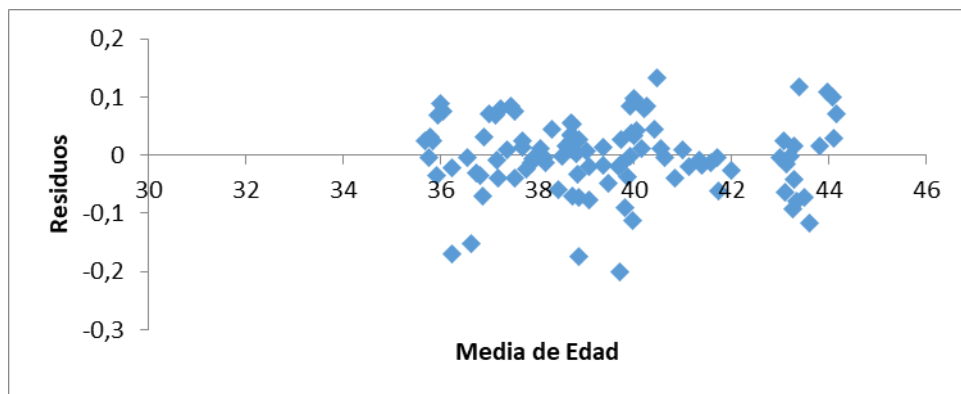


Figura 31: Representación de los residuos de la variable media de edad del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En este caso igual que en todos los anteriores no se encuentra nada en el gráfico de dispersión que haga rechazar la variable media de edad. En la próxima figura se muestra el gráfico de los residuos de la variable número de universitarios.

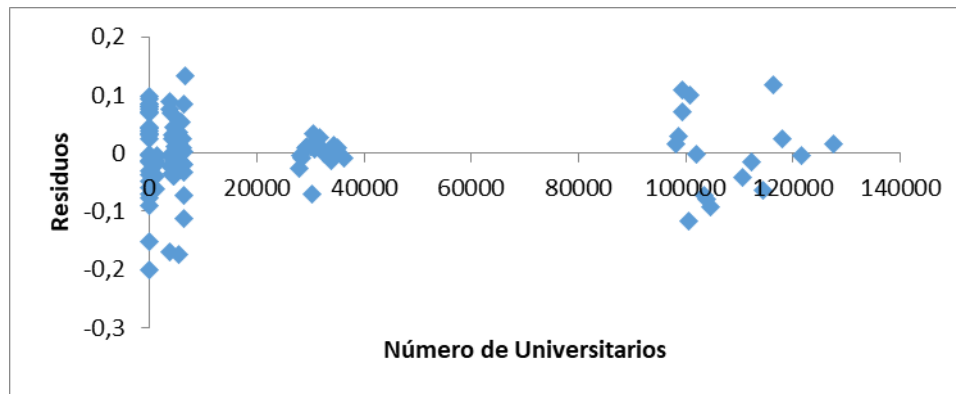


Figura 32: Representación de los residuos de la variable Número de Universitarios del segundo modelo. Elaboración propia a partir de los valores de la muestra.

En este caso no se encuentra ninguna anomalía que haga rechazar esta variable.

Como se ha podido ver en las figuras anteriores, todas las variables han sido validadas y además no ha sido necesario introducir ningún termino cuadrático. Por este motivo ya se puede confirmar que todas las variables del segundo modelo final son significativas y se pueden aceptar.

Por ello la función resultante del segundo modelo está definida de la siguiente manera, ya con todas las constantes introducidas.

$$\ln(\hat{Y}) = 12,909 + 3,864 * 10^{-6}X_1 + 4,405 * 10^{-6}X_2 + 5,915 * 10^{-6}X_3 - 0,0019X_4 + 0,0812 * X_5 + 0,0215X_6 + 9,679 * 10^{-6} - 7,813Q_2 + 1,125Q_3 + 0,400Q_4 - 0,232Q_5 - 0,358Q_7$$

Ecuación 4: Modelo 2 definitivo, con los coeficientes

Sabiendo que:

- Censo de població (X_1)
- Número de turismos (X_2)
- PIB per cápita (X_3)
- Tasa de paro (X_4)
- Número de estaciones (X_5)
- Media de edad (X_6)
- Número de universitarios (X_7)
- Barcelona (Q_2)
- Sant Cugat del Vallès (Q_3)
- Rubí (Q_4)
- Terrassa (Q_5)
- Sabadell (Q_7)

Comparando los coeficientes de determinación se puede comprobar que son valores casi idénticos, en el primer modelo este es de 0,998 mientras que en este segundo caso en el que la respuesta es el logaritmo neperiano de la demanda el coeficiente de determinación es de 0,996. Aunque el primer modelo tiene un valor más favorable, en el segundo modelo contiene dos variables más. En el próximo apartado se evaluará cuanto de preciso es el modelo, utilizando los datos del año 2018.

5. Validación del modelo

En este apartado se analizan los dos modelos presentados en el apartado anterior, para ello primero se calcula la demanda resultante de los dos modelos y se compara con los valores reales del 2018, posteriormente se analizan los diferentes coeficientes de los dos modelos y finalmente se analiza y justifica las diferencias entre los coeficientes referentes a los municipios.

5.1. Análisis resultados para 2018

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en los modelos presentados en el apartado anterior.

Los modelos obtenidos son:

Modelo 1 (La respuesta es Demanda)

$$\hat{Y} = -15,048 * 10^6 + 23,548X_1 + 32,711X_2 + 263,520X_3 - 50,468 * 10^3X_4 + 209,413 * 10^3X_6 + 218,925X_7 - 50,274 * 10^6Q_2 + 10,504 * 10^6Q_3 + 67,967 * 10^5Q_4 + 12,220 * 10^5Q_7$$

Ecuación 5: Modelo 1 final, con los coeficientes

Modelo 2 (La respuesta es el logaritmo neperiano de la Demanda)

$$\ln(\hat{Y}) = 12,909 + 3,864 * 10^{-6}X_1 + 4,405 * 10^{-6}X_2 + 5,915 * 10^{-6}X_3 - 0,0019X_4 + 0,0812 * X_5 + 0,0215X_6 + 9,679 * 10^{-6} - 7,813Q_2 + 1,125Q_3 + 0,400Q_4 - 0,232Q_5 - 0,358Q_7$$

Ecuación 6: Modelo 2 final, con los coeficientes.

Para realizar la validación de los dos modelos se calcula la demanda del año 2018 y se comparará con el valor real del mismo año. Además se repite el cálculo 6 veces para cada modelo, uno para cada municipio

En la Tabla 13 se muestran los parámetros que se utilizan para realizar la comprobación de los dos modelos.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
	Censo Población	Número Turismos	PIB per Cápita	Tasa de Paro	Número de estaciones	Media de Edad	Número Universitarios
<i>Barcelona</i>	1620343	560632	76320,4	8,87	17	44,136	97122
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	90664	39955	4857,7	6,28	8	38,542	4361
<i>Rubí</i>	76423	36355	2367,4	12,62	1	40,216	0
<i>Terrassa</i>	218535	101174	5128,8	12,77	5	40,667	6314
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	57740	28017	2092,6	8,77	2	42,376	27174
<i>Sabadell</i>	211734	97239	4689,2	12,42	6	41,868	1120

*Tabla 13: Valores de los variables para el año 2018 de los 6 municipios.
Elaboración propia a partir del modelo.*

Primeramente se realiza el cálculo de la demanda del año 2018 utilizando el primer modelo, utilizando los valores del 2018 de las variables y a partir de la función siguiente.

$$\hat{Y} = -15,048 * 10^6 + 23,548X_1 + 32,711X_2 + 263,520X_3 - 50,468 * 10^3X_4 + 209,413 * 10^3X_6 + 218,925X_7 - 50,274 * 10^6Q_2 + 10,504 * 10^6Q_3 + 67,967 * 10^5Q_4 + 12,220 * 10^5Q_7$$

Ecuación 7: Modelo 1 final, con los coeficientes

Realizando los cálculos y teniendo en cuenta que la variable número de estaciones (X_5) no es significativa y que las variables referentes a los municipios (Q_2, \dots, Q_7) son completadas con un 1 o un 0 en función del municipio estudiado, para aquellos municipios que no son

significativos utilizaremos un 0, ya podemos realizar los cálculos.

	Demanda Calculada (Y')	Demanda Real (Y)	Error (%)
<i>Barcelona</i>	41340655,08	41338186	0,006
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	8987498,261	9393226	4,319
<i>Rubí</i>	2746800,482	2597857	5,733
<i>Terrassa</i>	4112448,972	4360523	5,689
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	2160085,326	2210178	2,266
<i>Sabadell</i>	3961380,317	4202011	5,727

*Tabla 14: Comparación del valor calculado a partir del modelo 1 y el valor real.
Elaboración propia a partir del modelo.*

A partir de la Tabla 14, se muestra que los errores resultantes de la diferencia entre la demanda calculada a partir del primer modelo y la demanda real superan solo en los municipios de Rubí, Terrassa y Sabadell el 5% que se había propuesto inicialmente, cabe destacar que no superan de manera muy significativa al 5% con lo que se puede considerar que los errores son válidos. Y además realizando un error promedio entre los 6 municipios, se obtiene un error del 3,957%.

Ahora se repite el proceso pero para el segundo modelo, con lo que en este caso se utiliza la función siguiente.

$$\ln(\hat{Y}) = 12,909 + 3,864 * 10^{-6}X_1 + 4,405 * 10^{-6}X_2 + 5,915 * 10^{-6}X_3 - 0,0019X_4 + 0,0812 * X_5 + 0,0215X_6 + 9,679 * 10^{-6} - 7,813Q_2 + 1,125Q_3 + 0,400Q_4 - 0,232Q_5 - 0,358Q_7$$

Ecuación 8: Modelo 2 final, con los coeficientes

En este caso se debe tener en cuenta que todas las variables cuantitativas son significativas y que en lo que refiere a los municipios, solo el municipio de Cerdanyola del Vallès es no significativa. Sí que teniendo en cuenta lo explicado, los resultados son los

siguientes.

	Demanda Calculada (Y')	Demanda Real (Y)	Error (%)
<i>Barcelona</i>	41090806,04	41338186	0,598
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	9810897,794	9393226	4,447
<i>Rubí</i>	2425285,795	2597857	6,643
<i>Terrassa</i>	4481283,968	4360523	2,769
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	2166762,326	2210178	1,964
<i>Sabadell</i>	3996103,178	4202011	4,900

*Tabla 15: Comparación del valor calculado a partir del modelo 2 y el valor real.
Elaboración propia a partir del modelo.*

Como se puede observar en la Tabla 15, la diferencia entre la demanda calculada y la demanda real, es ligeramente inferior, cabe destacar que en el caso de Rubí el error es del 6,643%, en este caso sí que se aleja de forma significativa al 5% definido inicialmente, pero a diferencia del otro modelo, este hecho solamente se ha dado en un municipio, mientras que en el segundo modelo se dio en tres. Tal como se ha realizado en el análisis del primer modelo, se calcula el promedio del error de los seis municipios, en este caso, el error es de un 3,552%, dado que el error del primer modelo es de 3,957%, se puede afirmar que el segundo modelo es más preciso que el primero, y que además este segundo contiene un mayor número de variables a la hora de explicar la demanda.

5.2. Análisis de los coeficientes

Como se muestra en las ecuaciones 8 y 9, las variables con unos coeficientes más altos son los de las variables que hacen referencia al municipio, este hecho se da en los dos modelos. Además, cabe destacar que las variables con unos coeficientes más bajos son

tanto la variable censo de población como la variable número de turistas. Esto se debe mayormente a la magnitud de la variable, es decir al hecho de que tanto la variable censo de población como la variable número de turistas tienen unos valores altos, por lo que es normal que los coeficientes sean de una magnitud más baja.

Otro hecho que cabe destacar es el que hace referencia al signo (positivo o negativo) de cada una de las variables, por ejemplo la variable tasa de paro tiene un signo negativo, esto indica que a una mayor tasa de paro, la demanda disminuye. Esto se ajusta a la realidad ya que dada esta disminución de persona que trabajan, es probable que también se reduzca la demanda referente a la movilidad obligada. Mientras que por ejemplo, la variable PIB per cápita tiene signo positivo, esto indica que a un mayor PIB per cápita incrementa la demanda, este hecho también se ajusta a la realidad ya que como se ha explicado anteriormente el PIB per cápita depende de muchas variables, entre ellas, el consumo y la inversión, tanto de las familias como de las empresas, así que a un mayor producto interior bruto, se puede suponer que hay más personas con trabajo, hecho que incrementa la demanda debido a la movilidad obligada.

5.3. Análisis y justificación de la diferencia entre los municipios

En este punto explican las diferencias encontradas a la hora de calcular la demanda teniendo en cuenta el municipio. Como se ha podido ver en los modelos presentados, los coeficientes relacionados con el municipio difieren de manera significativa. Por ejemplo, aunque la demanda total en el municipio de Barcelona es mayor que en todos los otros municipios, el coeficiente que hace referencia al municipio de Barcelona es negativo, mientras que el coeficiente municipio de Rubí es el mayor.

Para realizar la justificación se utilizan dos parámetros que se consideran implícitos en la variable municipio pero que a la vez no se han tenido en cuenta como variables. Estos dos parámetros son la extensión del municipio y la densidad de población.

Primeramente se justifica las diferencias entre los municipios a partir de la extensión de los mismos.

	Extensión (Km²)
<i>Barcelona</i>	101,35
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	30,56
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	48,23
<i>Rubí</i>	32,30
<i>Terrassa</i>	70,16
<i>Sabadell</i>	37,79

Tabla 16: Extensión de los municipios. Elaborado a partir de la información de Idescat.cat.

Si se hace referencia al primer modelo, se comprueba que la demanda es inversamente proporcional a la extensión, por ejemplo Rubí es el municipio con una menor extensión y que se encuentra en el primer modelo (ya que la variable Cerdanyola del Vallès no era significativa) pero tiene el coeficiente municipio mayor. Sin embargo Barcelona es el municipio con una extensión mayor pero a la vez tiene la magnitud de la variable municipio menor. Este hecho se da también en el segundo modelo pero con algunas discrepancias ya que el coeficiente de Sabadell es inferior al de Terrassa mientras la extensión de Terrassa es mayor a la Sabadell. Por ello, se puede justificar que parte de la diferencia entre municipios puede estar motivada por este hecho.

El siguiente parámetro estudiado es la densidad de población, este parámetro depende tanto de la población (variable ya incluida en el modelo) como la extensión.

	Densidad (hab/Km²)
<i>Barcelona</i>	16149,60
<i>Cerdanyola del Vallès</i>	1878,37
<i>Sant Cugat del Vallès</i>	1886,92
<i>Rubí</i>	2398,27
<i>Terrassa</i>	3143,61

Sabadell	5653,45
----------	---------

Tabla 17: Tabla 16: Densidad de población de los municipios. Elaborado a partir de la información de Idescat.cat.

En este caso si se comparan las magnitudes de la densidad de población con las magnitudes de los coeficientes de las variables del segundo modelo, se observa que coinciden perfectamente, ya que se puede comprobar que la relación inversamente proporcional entre la densidad de los municipios y el coeficiente coincide. Aunque este hecho no se da de la misma manera en todos los casos del primer modelo, se puede concluir que esta característica influye de manera significativa en el coeficiente de la variable municipio.

Como se puede comprobar estos dos parámetros tienen una influencia significativa sobre el coeficiente de la variable demanda, influencia que se refleja en mayor y menor medida en los dos modelos.

6. Evaluación del impacto ambiental

El impacto ambiental asociado al estudio realizado sobre el impacto de la situación socioeconómica sobre la demanda de la línea de ferrocarriles del Vallès reside únicamente en su naturaleza teórica, siendo el consumo eléctrico de los equipos utilizados la única fuente de impacto.

La empresa HP pone a disposición de sus clientes una herramienta online para poder medir las emisiones de CO₂ asociadas al uso de sus productos basándose a un modelo que tiene en cuenta el uso semanal, la frecuencia de apagado y otras. Dado que la herramienta no está desarrollada para el territorio de estudio el factor de emisiones de efecto invernadero difiere ligeramente, así que se utilizará la herramienta solamente para el cálculo de los kWh y posteriormente se aplicará el factor de emisiones proporcionada en la página de la Generalitat de Catalunya (0,395 kg*CO₂/kWh). Utilizando los parámetros anteriores y teniendo en cuenta las 380 horas utilizadas en el desarrollo del actual estudio, se ha obtenido un consumo de 349,8 kWh totales.

Consumer desktop:

Consumer desktop: HP Pavilion Elite HPE PC

Monitor: HP W2371d 23" LED Backlit LC...

Power Usage ⓘ kWh per unit per year: 56.93

Power Usage Disable ⓘ kWh per unit per year: 290.77

Total hours of active user per week? ⓘ 1 < > 100
8 hours

How often is PC turned off after use? ⓘ never < > always
70%

Number of times used per week? ⓘ 1 < > 50
5 uses

Lifetime of PC in years? ⓘ 1 < > 5
1 years

Figura 33: Cálculo del consumo eléctrico del equipo utilizado para el estudio.

Elaborado a partir de la web www.hp.com

Traduciéndose finalmente a una emisiones de 164,5 KgCO₂

7. Presupuesto

A continuación se elabora el presupuesto para la realización del estudio en el que se pueden consultar los costes económicos asociados. Para llevarlo a acabo se tendrán en cuenta el sueldo del ingeniero, el precio del equipo utilizado, el consumo eléctrico y las licencias de los programas utilizados.

Se deben clasificar los costes anteriores entre gastos e inversiones; los gastos serán aplicables al 100% en el presupuesto mientras que las inversiones, al tener una vida útil superior a la duración del estudio, tan sólo se aplicaran al presupuesto la parte proporcional.

Gastos fijos del estudio (se aplica el total del coste):

- Sueldo: Se ha considerado que el sueldo por estos servicios es de 30€/h durante un 75% del tiempo (Ingeniero Junior) y un sueldo de 60€/h durante el tiempo restante (Ingeniero Senior). Dado que se han invertido aproximadamente un total de 380 horas de trabajo el coste relacionado con el sueldo es de 13.110€
- Consumo eléctrico: Especificado en la herramienta online de HP en la que se introdujeron todos los parámetros necesarios (modelo de ordenador, modelo de monitor, horas de trabajo, etc). El precio total del consumo es de 43 €.

Inversiones del estudio (solo se aplicara la parte proporcional teniendo en cuenta que la duración del estudio es de 4 meses).

- Equipo utilizado: Ordenador de gama media-alta (HP Pavilion Elite HPE) con un coste de 925 € y un monitor (HP W2371d 23" LED) de coste 126 €, ambos con una vida útil de 4 años.
- Programas utilizados: Solo se tendrán en cuenta la licencia anual de los programas de pago.

Concepto	Gasto/ Inversión	Coste	Vida útil	Tiempo de Utilización	Coste definitivo
<i>Sueldo</i>					
<i>Sueldo Ingeniero</i>	Gasto	-	-	-	13.110€
<i>Equipo</i>					
<i>Ordenador HP Pavilion Elite HPE</i>	Inversión	925 €	4 años	4 meses	77,10 €
<i>Monitor HP W2371d 23" LED</i>	Inversión	126 €	4 años	4 meses	10,50 €
<i>Consumo eléctrico</i>					
<i>Consumo eléctrico total</i>	Gasto	-	-	-	43 €
<i>Programas empleados</i>					
<i>Office</i>	Inversión	50 €	1 año	4 meses	16,67 €
COSTE TOTAL					13.257,27 €

Tabla 18: Desglose del presupuesto. Elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que los dos modelos desarrollados en el estudio y que permiten determinar la previsión de la futura demanda de pasajeros son admisibles y se ajustan adecuadamente a los valores reales. Se ha partido de la demanda real de 39 estaciones de la línea del Vallès de FGC entre los años 2001 y 2018, siendo estos valores anuales y muy agregados y con unas variables socioeconómicas seleccionadas, a partir de allí se han desarrollado 2 modelos que permiten determinar la previsión de la demanda futura de los pasajeros, los 2 modelos se han mostrado que son admisibles y que estadísticamente se ajustan razonablemente.

Los dos modelos desarrollados, uno lineal y el otro logarítmico, el segundo tiene un error inferior y además han entrado más variables significativas que en el modelo lineal. En el primer modelo no han entrado como variables significativas las variables número de estaciones, Terrassa y Cerdanyola del Vallès, mientras que en segundo modelo no ha entrado solo la variable Cerdanyola del Vallès. Teniendo en cuenta estos dos hechos, se puede concluir que el modelo logarítmico es más preciso y más completo.

A pesar de que se ha alcanzado el objetivo que se perseguía en este estudio, se podría conseguir un modelo más preciso considerando los siguientes aspectos. El primer aspecto sería realizar un modelo que contenga más variables explicativas, partir de unos datos más desagregados y finalmente trabajar a partir de los datos de cada una de las estaciones y tener en cuenta el área de influencia de cada una de las estaciones. Además, un trabajo futuro será realizar el estudio de la cuantificación de la influencia de cada una de las variables sobre la demanda, esto permitirá identificar cuáles de las variables tienen mayor o menos influencia en la demanda.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Informe de gestión 2001, p. 70-80 (Capítulo 6: Dades Estadístiques).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2001.pdf]
- [2] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2002, p. 55-72 (Capítulo 3: Dades i Xifres).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2002.pdf]
- [3] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2003, p. 33-47 (Capítulo 5: Dades i Xifres).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2003.pdf]
- [4] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2004, p. 45-57 (Capítulo 5: Dades i Xifres).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2004.pdf]
- [5] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2005, p. 66-80 (Capítulo 5: Dades i Xifres).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2005.pdf]
- [6] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2006, p. 62-75 (Capítulo 5: Dades i Xifres).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2006.pdf]
- [7] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2007, p. 9-20 (Capítulo 1: Model d'empresa pública amb vocació capdavantera).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2007.pdf]
- [8] FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, Memòria 2009, p. 13-25 (Capítulo 1: Model d'empresa pública amb vocació capdavantera).
[file:///C:/Users/pvillala/Desktop/TFM/TFM/memoria%20fgc/FGC_Memoria_2009.pdf].
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA (INE), Estadística del Padrón Continuo.
[https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?type=pcaxis&file=pcaxis&path=%2Ft20%2Fe245%2Fp05%2F%2Fa2001]

- [10] INSTITUT D'ESTADISTICA DE CATALUNYA (IDESCAT), Parc de vehicles.
[<https://www.idescat.cat/pub/?id=parcc&n=291&lang=es&by=mun>]
- [11] INSTITUT D'ESTADISTICA DE CATALUNYA (IDESCAT), Producte interior brut (PIB). [<https://www.idescat.cat/pub/?id=pibc&n=1539&by=mun&t=200600>]
- [12] OBSERVATORI DEL TREBALL I MODEL PRODUCTIU, Atur registrat i demandes d'ocupació.
[http://observatoritreball.gencat.cat/ca/recursos/dades_estadistiques/consulta_interactiva_general/atur_registrat_demandes_ocupacio/]
- [13] INSTITUT D'ESTADISTICA DE CATALUNYA (IDESCAT), Llocs d'estudi localitzats per lloc de residència.
[<https://www.idescat.cat/pub/?id=emouniv&n=8817&t=201700&by=mun>]

[<http://www.upc.es/slt/cat/publicacions/gl2/gl2.htm>, 21 de setembre de 2000]*. *[URL, data de consulta].
- [14] FUNDACIÓ SERVEIS DE CULTURA POPULAR. *Introducció a la geometria descriptiva, II: la perspectiva cònica*. Barcelona, 1993. [Vídeo]*. *[Suport, tipus de material].